

CUADERNO 1

ELECCIÓN DE LA CIFRA DE MERITO Y DEFINICION DE ALTERNATIVAS. SELECCIÓN DE LA MAS FAVORABLE

H. Carlos Orejas



Contacto: H. Carlos Orejas González

Correo: carlos.o.glez@gmail.com

Nº teléfono: 626669943



CONTENIDO:

1 INTRODUCCIÓN	4
2 BASE DE DATOS	13
3 DIMENSIONAMIENTO BÁSICO DEL BUQUE.....	18
3.2 BUQUE BASE.....	20
3.3 RECTAS DE REGRESIÓN	24
4 CÁLCULO DE COEFICIENTES.....	32
4.1 COEFICIENTE DE BLOQUE	35
4.2 COEFICIENTE DE LA SECCIÓN MEDIA	40
4.3 COEFICIENTE PRISMÁTICO LONGITUDINAL.....	41
4.4 COEFICIENTE LONGITUDINAL DEL CENTRO DE CARENA	43
5 ELECCIÓN DE LA CIFRA DE MÉRITO	44
5.1 ESTUDIO PRELIMINAR DE PESOS.....	45
5.1.1 CALCULO DEL PESO EN ROSCA	45
5.1.2 PESO DEL EQUIPO Y HABILITACIÓN	48
5.1.3 PESO DE LA MAQUINARIA PROPULSORA Y AUXILIAR.....	49
5.2 PESO EN ROSCA	51
5.3 CÁLCULO DEL PESO MUERTO	52
6 COSTES	55
6.1 COSTE DE CONSTRUCCIÓN MÍNIMO	56
6.1.1 COSTE DE MATERIALES A GRANEL.....	56
6.1.2 COSTE DE LA MANO DE OBRA (CMO)	57
6.1.3 COSTE DE LOS EQUIPOS (CEQ) Y DE SU MONTAJE (CME).....	57
6.1.4 COSTES VARIOS APLICADOS (CVA).....	58
6.1.5 COSTE DE CONSTRUCCIÓN (CC).....	59
7 ALTERNATIVA MÁS FAVORABLE	59
8 NUEVO ESTUDIO PRELIMINAR DE PESOS	60
9 ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA PROPULSORA	61
9.1 ELECCIÓN DE LOS MOTORES GENERADORES.....	67
10 CALCULO DEL FRANCOBORDO	68
BIBLIOGRAFÍA	79
CUADERNO 1.....	80
ANEXOS.....	80
ANEXO 1.....	81
BASE DE DATOS.....	81
ANEXO 2.....	82
SOLVER	82

Lng carrier 170 000 m³

Alumno: H. Carlos Orejas González



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Tutor: Pablo Fariñas Alvariño

Proyecto: 13-P7

Escola Politécnica Superior



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA

GRADO EN INGENIERÍA DE PROPULSIÓN Y SERVICIOS DEL BUQUE

CURSO 2.012-2013

PROYECTO NÚMERO 13-P7

TIPO DE BUQUE : L.N.G.C. 170.000 m³

CLASIFICACIÓN , COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN : Bureau Veritas, Solas, Marpol.

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: L.N.G.

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA : 21 nudos al 90 % de MCR con un 10% de margen de mar y autonomía de 12.000 millas a velocidad de servicio.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA : Sistema de contención de la carga de doble membrana, sistema de descarga con bombas.

PROPULSIÓN : Propulsión diesel eléctrica.

TRIPULACIÓN Y PASAJE : 26

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES : Hélice transversal en proa . Las habituales en este tipo de buques.

Ferrol, Febrero de 2.013

ALUMNO : D. Horacio Carlos Orejas González.

1 INTRODUCCIÓN

- Análisis y enfoque conceptual del proyecto

Se pretende dar una misión global del mercado del gas natural licuado (en adelante LNG), así como el interés de un proyecto de estas características. Los datos referidos a los volúmenes de gas natural comercializados han sido obtenidos mediante lo estipulado en los contratos que firman las distintas compañías, por lo que estos no tienen porque corresponder con los volúmenes reales de gas que llevan los buques en cada momento. Los datos estadísticos con los que se trabajará proceden de diversas fuentes, las cuales serán citadas en el texto.

Comenzaremos definiendo el Gas Natural:

El gas natural es una sustancia de origen fósil, procedente de la descomposición de materia orgánica atrapada bajo la superficie terrestre, tanto en estado líquido como en estado gaseoso, cuyo contenido principal es el metano, en proporciones próximas al 90 %. Además contiene fracciones variables de hidrocarburos gaseosos más pesados (etano, propano, butano, pentano y hexano). Es incoloro, no tóxico e inodoro, aunque se le añaden sustancias odorantes para facilitar su detección en caso de fuga. El gas producido en procesos industriales no está incluido en los datos proporcionados. Los datos en millones de metros cúbicos son medidos a 15°C y a una presión de 760 mmHg (condiciones estándar). Los principales parámetros que definen la calidad del gas natural son:

Poder calorífico superior (PCS). Se expresa generalmente en terajulios. Corresponde al calor desprendido en la combustión completa de una unidad de volumen de gas, considerando el agua producto de la reacción en estado líquido. Sus valores se encuentran típicamente en 9-11 TJ/m³.

Poder calorífico inferior (PCI). Se expresa en MTOE (1 Million Tonnes of Oil Equivalent, 41.868 GJ). Corresponde al calor desprendido en la combustión completa de una unidad de volumen de gas considerando el agua producto de la reacción en estado vapor. La diferencia entre este y el PCS es el calor latente de vaporización del vapor de agua producido durante la combustión del gas. En el gas natural el poder calorífico inferior es un 10% inferior al poder calorífico superior.

Densidad. La densidad absoluta del gas natural en condiciones estándar se encuentra entre 0,6 y 08 kg/m³ dependiendo de la composición. La del gas natural licuado (LNG) 451 kg/m³. Aquí se puede observar que un 1 m³ de LNG equivale aproximadamente a 600 m³ de gas natural.

- Situación del Mercado de Gas Natural Licuado

La situación del mercado del Gas Natural se explica atendiendo a su evolución histórica, el panorama actual y las proyecciones de futuro. Se presta especial atención a la relación entre la demanda de LNG y de Gas Natural, y el porqué del crecimiento del mercado del LNG.

La producción, transporte y distribución del LNG está íntimamente ligada a la denominada cadena de valor. De acuerdo con Michael Porter en su libro “**La ventaja competitiva**”, en términos competitivos “valor” es aquello que el comprador paga por lo que una empresa le ofrece. La cadena de valor es mucho más intensa que en el caso del transporte de gas natural mediante tuberías. Los suministradores de LNG confirman primero las ventas a los compradores, y se firma un contrato durante un periodo de 20-25 años con términos estrictos respecto al precio del gas. Sólo cuando los clientes han firmado el pedido, y sale económicamente viable, se procede al desarrollo y operación de la terminal mediante inversión de patrocinadores. Esto explica que en el mercado de los LNG sólo jueguen países con fuerte poder económico y político. Las compañías petroleras más importantes como ExxonMobil, Royal Dutch Shell, BP, Chevron y Stream (Repsol y Gas Natural) están presentes en el sector. Países como Japón, Corea del Sur, España, Francia, Italia y Taiwán deben importar grandes volúmenes de LNG debido a su carestía energética.

En la figura se representa la cadena de valor simplificada del LNG.

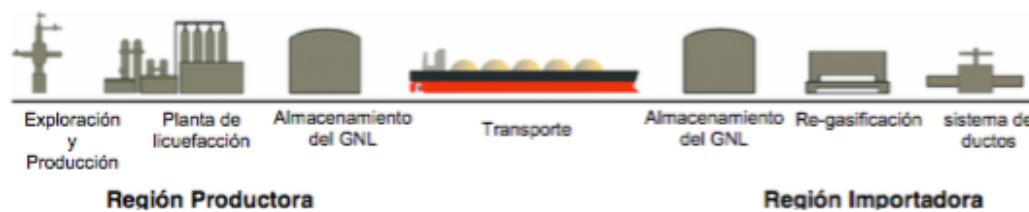


Figura: Cadena de valor del LNG

Extracción/Producción	Licuefacción/Almacenamiento	Transporte	Regasificación
15-20%	30-45%	10-30%	15-25%

La planta de licuefacción puede llegar a costar entre 3000 y 5000 millones de \$ por tren (se entiende por tren la cadena de equipos que disminuyen la temperatura del gas a su punto líquido). Los tanques en las terminales portuarias donde se almacena el LNG pueden costar entre 150-200 millones de \$, y generalmente se requiere una flota de barcos para el transporte, manteniéndose una producción de flujo constante. Las terminales de regasificación pueden llegar a costar 500-1500 millones de \$. Como todas las inversiones deben realizarse antes de la entrada del gas al mercado, los proyectos de LNG vienen asegurados normalmente con contratos a largo plazo, con consumidores específicos que aseguran la financiación del proyecto. Generalmente se especifica la localización de entrega para plazos de 20-25 años.

La distribución del LNG ha venido históricamente estructurada en bases muy rígidas de take-or-pay para volúmenes específicos, con precios ligados al petróleo. En este tipo de contratos el comprador recibe el producto en la cantidad solicitada o si decide coger un volumen inferior al acordado paga una penalización, aunque recientemente han surgido otro tipo de contratos.

Algunos proyectos LNG han vendido menos de la totalidad de la producción estimada a compradores específicos, dejando disponible una parte del LNG

para contratos a corto plazo, tomando la ventaja de vender a precios del mercado más elevados en un determinado momento.

El número de países envueltos en el tráfico del LNG ha crecido de forma significativa en los últimos años. Mientras que en 1995 había 8 países exportadores y 9 importadores, en 2009 eran 17 exportadores, y 22 importadores. A día de hoy (2015), 22 exportadores y 29 importadores.

De acuerdo con el flujo de LNG y los volúmenes manejados, se pueden identificar tres mercados: el Americano, el Europeo y el de Asia-Pacífico.



Figura: Flujo de mercado de LNG (fuente BP)

El mercado americano engloba a los Estados Unidos, Canadá y a los países Latinoamericanos, se incluyen éstos últimos debido a que el volumen que se maneja es muy pequeño en comparación con el de los Estados Unidos. Todas las regiones interactúan entre sí, aunque con volúmenes muy pequeños que

se comercializan en el mercado spot o de corto plazo. En los últimos años se ha observado cierta competencia entre el mercado americano y el europeo, ya que en ambos existe interés por el LNG de África y de Trinidad y Tobago, por el contrario, el mercado de la región Asia-Pacífico interactúa relativamente poco en estos mercados.

- Evolución histórica

Los inicios del LNG se remontan al siglo XIX cuando el físico y químico Michael Faraday experimentó licuando diferentes tipos de gases, incluyendo el gas natural. Más tarde en 1873 el ingeniero alemán Karl Von Linde construyó la primera máquina de refrigeración por compresión. La primera planta de LNG fue construida en West Virginia en 1912. La licuefacción del gas y su posible almacenamiento en tanques a presión permitió su transporte a grandes distancias. En 1959 se construye el primer LNG carrier del mundo “Methane Pioneer”, un bulk-carrier de la II Guerra Mundial que transportaba LNG desde Estados Unidos a Reino Unido.



Figura: Methane Pioneer, 1959

Con él comenzó la industria del transporte de LNG, pequeña y limitada en sus orígenes, pero que pronto creció y se desarrolló pasando a ser un negocio importante a nivel mundial. En la actualidad el gas natural suministra alrededor de un quinto de la energía mundial demandada.

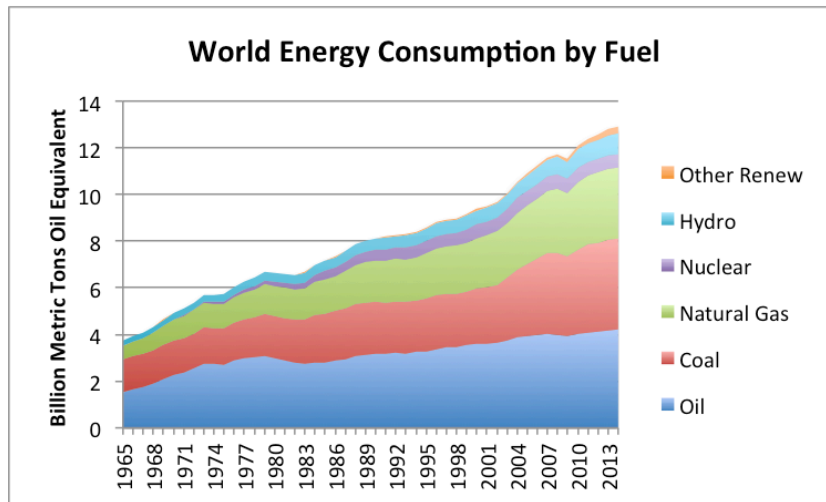


Gráfico: Consumo mundial de Fuel

Las razones de este crecimiento son:

- El LNG supone una obtención de energía más limpia que el petróleo y el carbón.
 - En muchas situaciones en las que la instalación de tuberías puede resultar costosa, el LNG supone un ahorro de costes importantes frente a otras formas de dispensación del gas natural.
 - La trayectoria encomiable de fiabilidad y seguridad que ha presentado la industria LNG durante toda su existencia, que ha abarcado un periodo de tiempo de más de 50 años.
 - Por último, la flexibilidad que proporciona el LNG. A diferencia del gas transportado en tuberías, los compradores pueden abastecerse de LNG desde un gran número de posibles puntos de suministro.
- Situación actual

Debido a las necesidades de mejorar la eficiencia energética en el mundo marítimo de cara a las emisiones a la atmósfera, y en mucha mayor proporción a la producción de energía eléctrica en tierra, tanto por las propias centrales de energía como para los consumos domésticos y de los transportes terrestres, parece claro que la demanda de gas natural vaya en aumento.

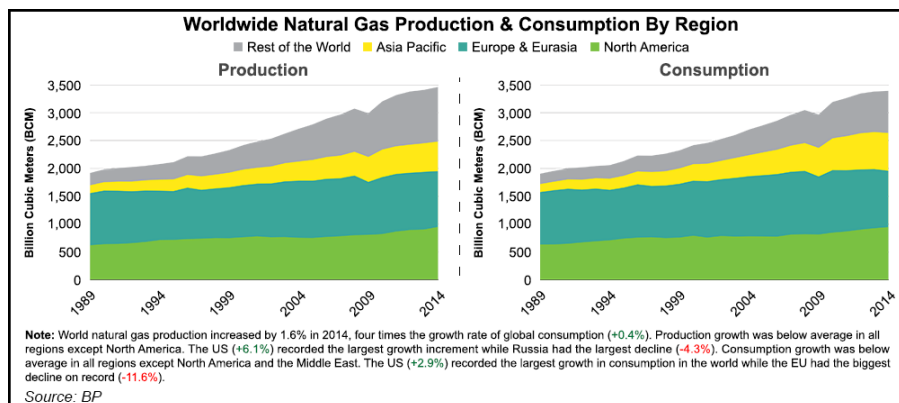


Gráfico: Producción y consumo mundial de LNG

En la actualidad Qatar, con unas reservas de gas alrededor de 24 trillones de metros cúbicos, es el máximo exportador de LNG y le siguen Australia y Malasia. Por otro lado los principales importadores de LNG son, Japón, Korea, y China. España y Reino Unido son actualmente los mayores importadores de LNG de la UE.

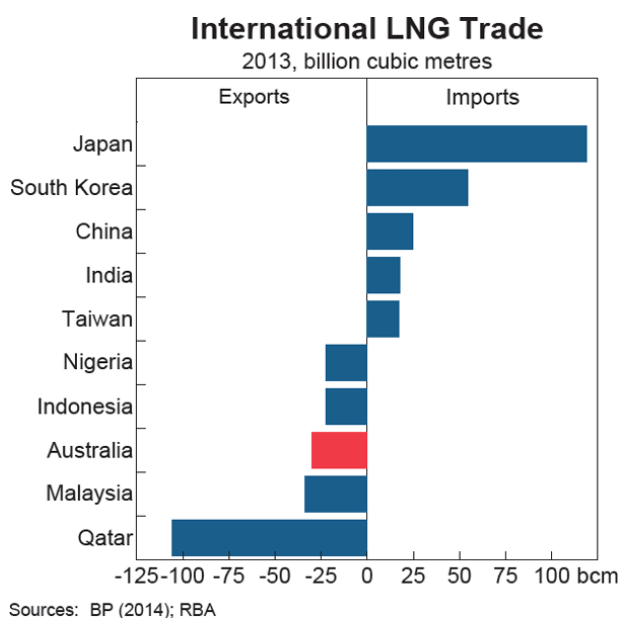


Gráfico: Ranking de exportadores e importadores de LNG

Respecto a la flota actual de buques LNG se pueden hacer la siguiente división:

- LNG Standard con capacidad hasta 210.000 m³.
 - Q-Flex con una capacidad de carga desde los 210.000 m³ a los 217.000 m³.
 - Q-Max con capacidad entre 263.000 m³ y los 266.000 m³.
- Previsiones futuras

A pesar de las buenas previsiones, aún faltan cuestiones por resolver, como el exceso de capacidad de la flota de los metaneros o el descenso del precio del petróleo.

El mercado del gas natural licuado está en pleno auge. Así lo muestran los nuevos encargos de metaneros que se han hecho entre enero y febrero, 12 en concreto, que suponen una inversión de más de 2.000 millones dólares (1.761 millones de euros), la mayor inversión de entre todos los sectores navieros, según Lloyd's List.

En total, la cartera de pedidos de este tipo de buques asciende hasta ahora a unos 160, cuyo valor suma más de 30.000 millones de dólares (26.420 millones de euros), tal y como informa Anave.

Estas inversiones se basan en las previsiones de un importante crecimiento del mercado gasístico mundial, unas previsiones que podrían no cumplirse. Así, aún falta por que el futuro se aclare en lo relativo a la demanda en Asia y en Europa, el aumento de capacidad de la flota de metaneros o el descenso del precio del petróleo.

El aumento de la demanda en el sudeste asiático, especialmente en países que hasta ahora eran exportadores de GNL, como Malasia e Indonesia, está abriendo nuevas rutas de exportación, sobre todo desde Australia, que espera convertirse en el mayor productor y exportador de gas en 2020, con 80 millones de toneladas previstas frente a los actuales 33 millones.

En este sentido, el aumento de las importaciones de países como Vietnam, Filipinas y Tailandia podría llegar a ser el 75% del mercado asiático de GNL y todas las terminales de la zona podrían mover más de 20 millones de toneladas al final de la década. Algunos países como Singapur ya se están posicionando como hubs de GNL para poder establecer los precios, desvinculándose así del mercado del petróleo.

Por otro lado, el conflicto entre Rusia y Ucrania es otro factor que puede influir en las rutas comerciales de GNL. Europa recibe de Rusia por gasoductos un 30% del gas que importa y un 50% de éste pasa a través de Ucrania. Por ello, la interrupción total o parcial de estas importaciones forzaría a Europa a depender más del transporte marítimo.

La ampliación del canal de Panamá en 2016 podría ser un arma de doble filo para la demanda de transporte de GNL ya que, aunque reducirá drásticamente la distancia, y por tanto, el tiempo de viaje desde el Golfo de EEUU a Asia, también reducirá, proporcionalmente, la demanda en toneladas por milla para los metaneros.

De esta forma, sin tener claro el futuro del mercado del LNG tampoco se puede tener claro cuál será la capacidad de transporte necesaria en 2020 y, en caso de continuar los encargos al ritmo actual, podría producirse una sobrecapacidad, pasando a ser el mayor problema en el sector para el 2020.

Según Lloyd's List, el 40% de los buques metaneros entregados en 2014 no tenía un contrato a largo plazo y operaban al 'spot' (los activos que se

compran o venden se entregan de forma inmediata al precio de mercado del momento de la compra/venta), por lo que habrá que observar cómo evoluciona el mercado en 2015, si se hace frente al exceso de oferta y cómo queda el equilibrio en el mercado en los próximos años, cuando se vayan entregando los buques que se están contratando en la actualidad.

- El buque proyectado

El buque que va a ser proyectado es un LNG de 170.000 m³.

Dispondrá de cuatro tanques de membrana en la cual la presión de vapor está en un rango de 0,25 bares.

El buque cuenta con una cubierta continua sin castillo de proa y tiene una proa de bulbo. La hélice es impulsada por un motor eléctrico, y una hélice de paso fijo.

El aislamiento del tanque es de gtt sistema mark iii, que tiene un espesor de 270 mm para satisfacer que la pérdida de carga sea lenta, entorno a un 0,15% en el volumen total de la carga total por día.

El sistema de propulsión a bordo será es un dual-fuel diésel-eléctrico, capaz de utilizar para la combustión de la propulsión el gas que se evacúa de los tanques, combustible diésel marino o fuel oil pesado.

2 BASE DE DATOS

Para la elaboración de la base de datos se han seleccionado buques del tipo LNG de capacidad de carga similar a la del buque proyectado, es decir $\pm 25\%$ (127500- 212500). También que estos dispongan de tanques de membrana y que sean de reciente construcción.

La base de datos se ha creado a partir de la revista "Significant Ships" publicada por The Royal Institution of Naval Architects y por diferentes webs



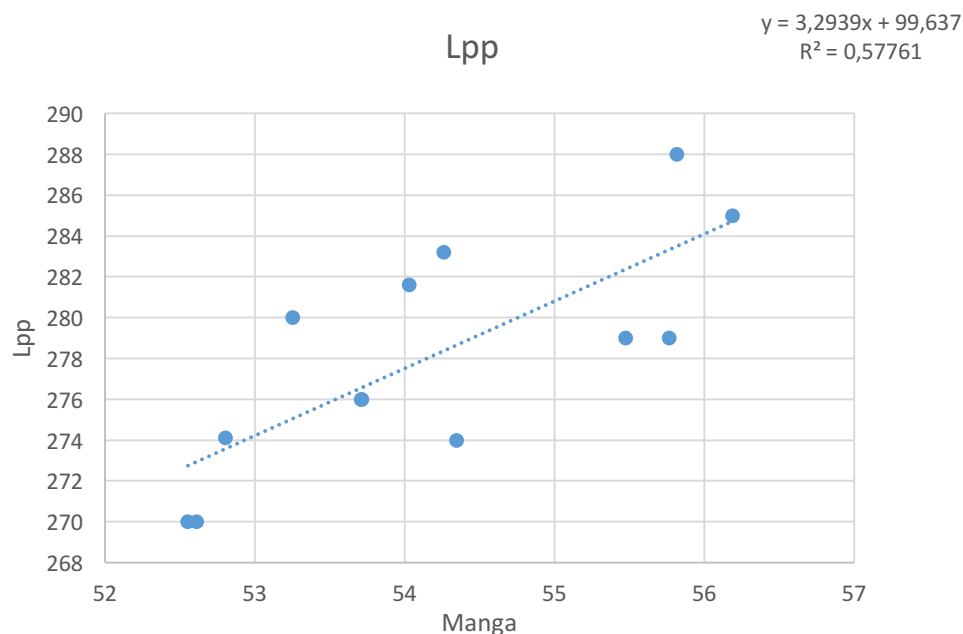
como ***www.aukevisser.com***, los buques se han contrastado, en la medida de lo posible, con los datos ofrecidos por las empresas navieras que los explotan.

La base de datos trata de ser lo más completa posible, de modo que además de tener los datos referidos a las dimensiones principales, se han buscado otra serie de datos que ayuden a definir el buque, como son la potencia, velocidad, números de tanques y sistema de carga.

Nombre	Fecha	V(m3)	Loa(m)	Lpp(m)	B(m)	D(m)	T(m)	V(kn)	TPM (tons)	Cbd	GT	Despl. (tons)	Fn	Pot.(kw)	Sist. De carga	Tank
Maersk Qatar	2006	145600	283	270	43,4	26	11,4	20,6	71450	0,745	96508	102000	0,206	29050	GTT Mk III	4
Dapeng Sun	2008	147237	292	274,1	43,35	26,25	11,45	19,5	83050		97871		0,193	27300	GTT NO96	4
Trinity Arrow	2008	154982	289	276	44,7	26	11,37	19,5	72318		101080		0,193	29420	GTT Mk III	4
GDF Suez Neptune	2009	145130	283,06 1	270	43,4	26	11,4	19,5	70860	0,746	96153		0,195	33000	GTT Mk III	4
Seri Balhaf	2009	157720	294,6	281,6	46,5	25,8	11,15	19,5	91201		107633		0,191		GTT NO96	4
Express	2009	151000	291	280	43,4	26	11,6	19,2	74700		100300	117300	0,188	26480	GTT NO96	4
Abdelkader	2010	177400	298	285	46	26,8	11,9	19,6	87100		114200		0,191	39900	GTT Mk III	4
Barcelona Knutsen	2010	173400	290	279	45,8	26,5	11,95	19,5	86920	0,778	110920	131720	0,192	42750	GTT NO96	4
Castillo de Santisteban	2010	173887	299,9	288	45,8	26	11,6	20,4	83515	0,761	111665	128987	0,198		GTT NO93	4
GDF Suez Point Fortin	2010	154913	289,93	276	44,7	26	11,73	19,5	72354		101129		0,193	29420		4
Methane Julia Louise	2010	170723	291,06	279	46	26	11,5	19,75	81621	0,7721	109004	119094	0,194	39900	GTT Mk III	4
Soyo	2011	160518	285,35 7	274	43,4	26,4	11,75	21	78697	0,7595	100723	113020	0,208	39900		4
Woodside Rogers	2013	159760	294,2	283,2	44	26	11,5	19,9	78000		103670		0,194	35460	GTT NO96	4

Esta primera base de datos fue descartada ya que todas las regresiones tenían un error demasiado alto, uno de los motivos era que esta base de datos contenía buques con plantas de regasificación instaladas.

Como ejemplo:



$R^2=0,57761 \neq 1$

- Los buques en color rojo fueron descartados por contar con plantas de regasificación a bordo.
- Los buques en color naranja fueron sustituidos por otros con características constructivas mas similares al buque proyectado.

Estos resultados hicieron que se modificase y realizase una nueva base de datos combinando los buques “útiles” con otros sacados de diversas fuentes.

Finalmente la base de datos con la que se trabajará será la siguiente:

Nombre	Fecha entrega	V(m ³)	L _{oa} (m)	L _{pp} (m)	B(m)	D(m)	T(m)	V(kn)	TPM (tons)	Cbd	GT	Despl. (tons)	Fn	Pot.(kw)		Sist. De carga	Tanques
														Motor	Auxiliar		
Maersk Qatar	2006	145600	283	270	43,4	26	11,4	20,6	81450	0,745	96508	102000	0,206	29050	6900	GTT Mk III	4
British esmerald	2007	155000	288	275	44,2	26	11,47	20	84300	-	102000	-	0,198	-	-	GTT Mk III	4
Dapeng Sun	2008	147237	292	274,1	43,4	26,25	11,45	19,5	83050	-	97871	-	0,193	27300	9800	GTT NO96	4
Trinity Arrow	2008	154982	289	276	44,7	26	11,37	19,5	85511	-	101080	-	0,193	29420	9750	GTT Mk III	4
STX kolt	2008	153000	288	276	44	26,2	11,5	20,3	86600	0,754	100189	-	0,201	29290	10500	GTT Mk III	4
GDF Suez Neptune	2009	145130	283,061	270	43,4	26	11,4	19,5	80980	0,7465	96153	-	0,195	26400	13500	GTT Mk III	4
Seri Balhaf	2009	157720	294,6	281,6	46,5	25,8	11,15	19,5	91201	-	107633	-	0,191	25255	14645	GTT NO96	4
Abdelkader	2010	177400	298	285	46	26,8	11,9	19,6	87100	-	114200	-	0,191	39900	-	GTT Mk III	4
Castillo de Santisteban	2010	173887	299,9	288	45,8	26	11,6	20,42	83515	0,7614	111665	128987	0,198	39400	-	GTT NO93	4
GDF Suez Point Fortin	2010	154913	289,93	276	44,7	26	11,73	19,5	72354	-	101129	-	0,193	29420	-	GTT Mk III	4

Tabla 1. Bases datos

A partir de la base de datos se pueden obtener una serie de magnitudes adimensionales que serán además de útiles para acotar ciertas características del buque, orientativas en la primera etapa.

3 DIMENSIONAMIENTO BÁSICO DEL BUQUE

Las dimensiones básicas del buque serán calculadas mediante diferentes métodos:

- Buque base
- Rectas regresión
- Relaciones dimensionales

Se obtendrá una primera aproximación a las dimensiones básicas del buque mediante el método del buque base. Se tomará como referencia el buque de la base de datos más parecido al proyectado.

Para continuar, se obtendrán las dimensiones básicas del buque recurriendo a las rectas de regresión y a relaciones adimensionales.

En cuanto a las rectas de regresión, se analizarán una serie de buques actuales y por regresión se determinará la relación estadística entre la función volumen de carga y las dimensiones eslora entre perpendiculares, manga, puntal y calado.

La RPA más característica del buque a proyectar es el volumen de total de sus tanques y en este caso está especificado en 170.000 m³, con el que se calcularán las dimensiones principales en las gráficas.



Por último se utilizarán las relaciones adimensionales. El hecho es que hay seis relaciones dimensionales que relacionan las cuatro dimensiones principales del buque (L,B,D y T).

$$B = f(L) \quad D = f(L)$$

$$D = f(B) \quad T = f(L)$$

$$T = f(D) \quad T = f(B)$$

3.2 BUQUE BASE

Se tomara como referencia el buque más parecido de la base de datos, en este caso es el buque Castillo de Santisteban que tiene una capacidad de 173.887 m³ y una velocidad de 20,42 knots, este factor es el que hace que sea el buque más similar ya que en volumen de carga hay un buque mas cercano al elegido.

Nombre	Año	Referencia	Desplaz. (t.)	TPM (t.)	m ³
Castillo de Santisteban	2010	<i>Significant ships of 2010</i>	128.987	83.515	173.887

L(m.)	L _{pp} (m.)	B(m.)	D(m.)	T(m.)	V(kn.)	Cb	Fr
299,90	288	45,8	26	11,60	20,42	0,7614	0,198

$$Fr_{buquebase} = \frac{V_0}{\sqrt{g \cdot L_{pp}}} = \frac{20,42 \cdot 0,5144}{\sqrt{9,81 \cdot 288}} = 0,198$$

$$Knot = \frac{milla}{hora} \cdot \frac{1h}{3600s} \cdot \frac{1852m}{1milla} = 0,514m / s$$



Figura: Buque base "CASTILLO DE SANTISTEBAN"

-CÁLCULO DEL DESPLAZAMIENTO

El desplazamiento no es la característica mas relevante del buque proyectado, además el peso muerto no es un dato del proyecto, la que tiene mayor peso es la capacidad de carga, es decir los metros cúbicos de gas natural licuado por lo tanto:

$$\frac{\Delta_0}{X_0} = \frac{\Delta_b}{X_b}; \Delta_0 = \frac{\Delta_b}{X_b} \cdot X_0 = \frac{128987}{173887} \cdot 170000 = 126103,68t$$

-CÁLCULO DE LA ESLORA ENTRE PERPENDICULARES

Igualando el número de Froude:

$$Fn_0 = \frac{V_0}{\sqrt{g \cdot L_0}}, \quad Fn_b = \frac{V_b}{\sqrt{g \cdot L_b}}$$

$$\frac{V_0}{\sqrt{g \cdot L_0}} = \frac{V_b}{\sqrt{g \cdot L_b}} \quad \rightarrow \quad L_0 = L_b \cdot \left(\frac{V_0}{V_b} \right)^2$$

Por lo tanto:

$$L_{pp_0} = L_{pp_b} \cdot \left(\frac{V_0}{V_b} \right)^2 = 288 \cdot \left(\frac{21}{20,42} \right)^2 = 304,59m$$

Este valor es descartado debido a que es excesivo comparándolo con el valor del buque base. Se pasará a comparar los volúmenes de carena:

$$L_{pp_0} = L_{pp_b} \cdot \sqrt[3]{\frac{\Delta_0}{\Delta_b}} = 288 \cdot \sqrt[3]{\frac{126103,68}{128987}} = 285,84m$$

-CÁLCULO DE LA MANGA

$$B_0 = B_b \cdot \frac{L_{pp_0}}{L_{pp_b}} = 45,8 \cdot \frac{285,84}{288} = 45,46m$$

-CÁLCULO DEL PUNTAL

$$D_0 = \frac{X_0 \cdot L_{pp_b} \cdot B_b}{X_b \cdot L_{pp_0} \cdot B_0} \cdot D_b = \frac{170000 \cdot 288 \cdot 45,8}{173887 \cdot 285,84 \cdot 45,46} \cdot 26 = 25,80m$$

-CÁLCULO DEL CALADO

$$T_0 = \frac{\Delta_0}{\rho \cdot L_{pp_0} \cdot B_0 \cdot C_{B_0}}$$

Solo se desconoce el CB_0 y lo calcularemos como:

$$CB_0 = CM_0 \cdot CP_0 \rightarrow \text{donde } CP_0 = 1,20 - 2,12 \cdot Fn_0 \text{ (según Troost)}$$

$$Fn_0 = \frac{V_0}{\sqrt{g \cdot L_0}} = \frac{21,05144}{\sqrt{9,81 \cdot 285,84}} = 0,204$$

De manera que :

$$CP_0 = 1,20 - 2,12 \cdot Fn_0 = 1,20 - 2,12 \cdot 0,204 = 0,7675$$

Como el número de Froude es $< 0,5$ el coeficiente de la maestra será:

$$CM_0 = 1 - 2 \cdot Fn^4 = 1 - 2 \cdot (0,204)^4 = 0,9965$$

Por lo tanto el coeficiente de bloque:

$$CB_0 = CM_0 \cdot CP_0 = 0,995 \cdot 0,7676 = 0,7637$$

Ahora se procederá al cálculo del calado:

$$T_0 = \frac{\Delta_0}{\rho \cdot L_{pp_0} \cdot B_0 \cdot C_{B_0}} = \frac{126103,68}{1,025 \cdot 285,84 \cdot 45,46 \cdot 0,7637} = 12,4m$$



En resumen, los valores que se han obtenido mediante el método del buque base son los siguientes:

L _{pp} (m.)	B(m.)	D(m.)	T(m.)
285,84	45,46	25,80	12,4

-POSICIÓN LONGITUDINAL DEL CENTRO DE CARENA

$$XB_0 = \frac{(17,5 \cdot C_{P_0} - 12,5) \cdot L_0}{100} = \frac{(17,5 \cdot 0,7675 - 12,5) \cdot 285,84}{100} = 1,67m$$

Valores positivos hacia la proa de la misma.

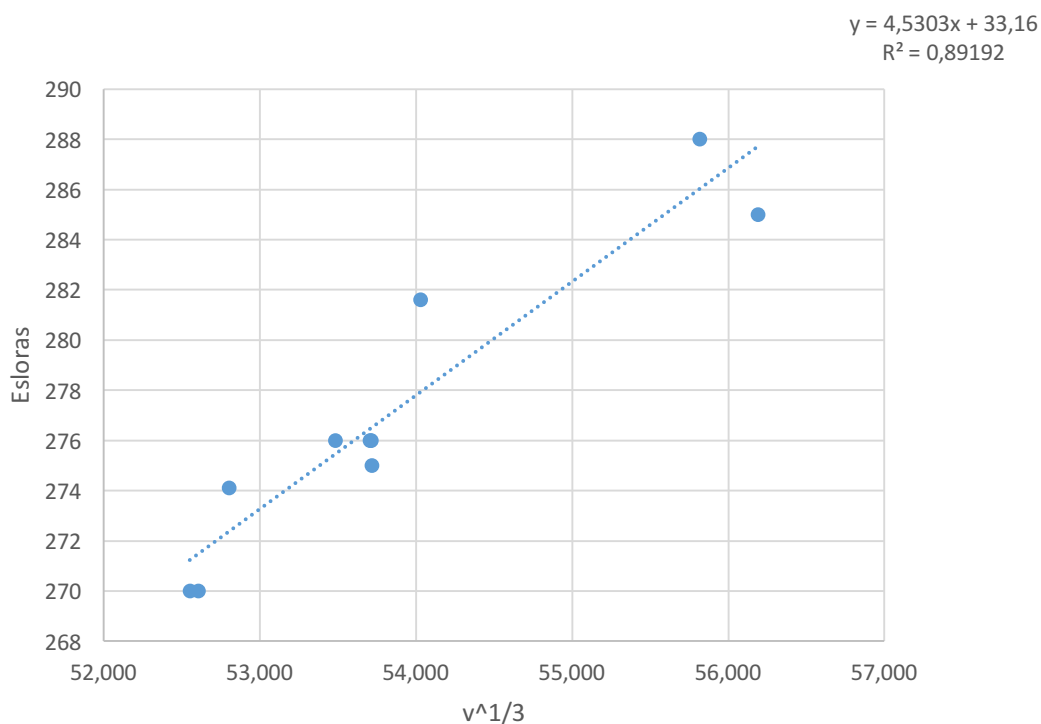
3.3 RECTAS DE REGRESIÓN

- CALCULO DE LA ESLORA

Para definir la eslora se puede tener en cuenta tanto el volumen de carga (VC) como el número de Froude. En buques con una velocidad dentro de la media se puede tomar exclusivamente el volumen de carga.

Utilizando los datos de la tabla del apartado anterior, calcularemos por regresión el valor de la eslora del buque proyectado utilizando el volumen elevado a un tercio.

Buque proyectado $\rightarrow V^{1/3} = 55,4$ m.



A continuación introduciendo el volumen de carga del buque proyecto obtenemos la eslora entre perpendiculares.

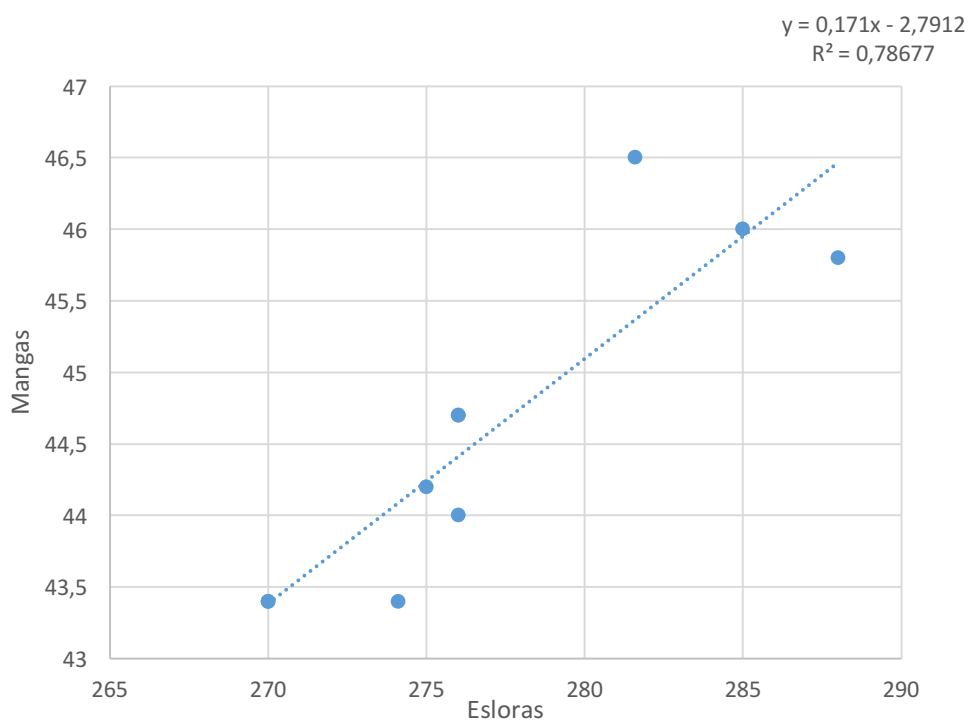
$$L_{pp} = 4,5303 \cdot \sqrt[3]{170000} + 33,16 = 284,14m$$

Con este resultado hemos obtenido los siguientes valores para la eslora entre perpendiculares:

Buque base	$L_{pp} = 285,84 \text{ m}$
Rectas de regresión	$L_{pp} = 284,14 \text{ m}$
Media	$L_{pp} = 284,98 \text{ m} \approx 285 \text{ m}$

- CÁLCULO DE LA MANGA

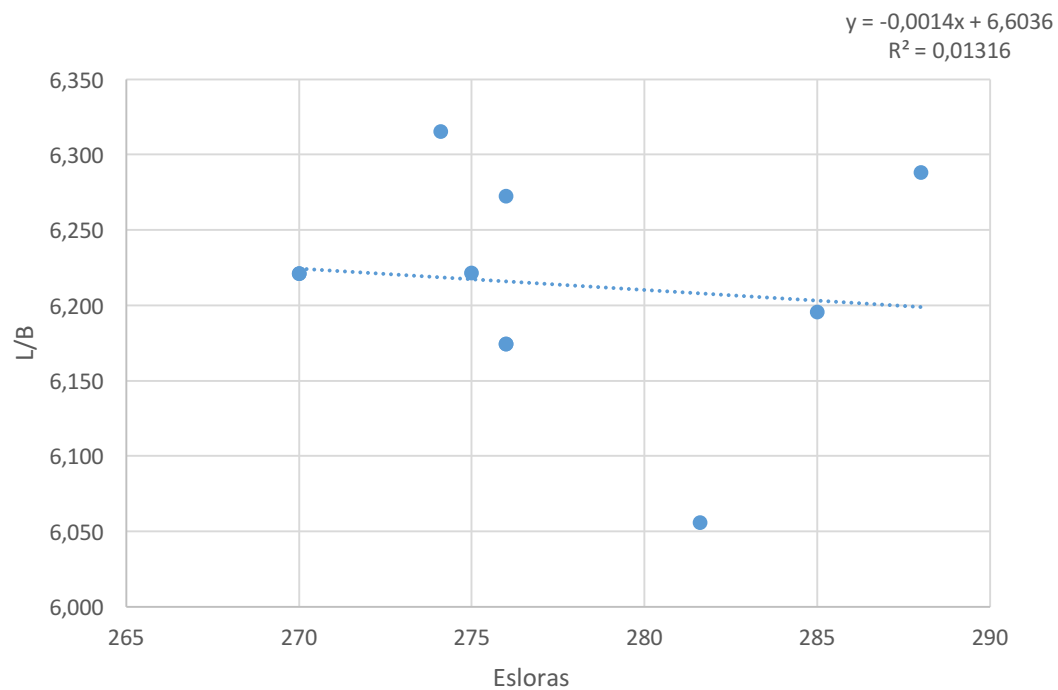
Para la obtención de la manga volveremos a utilizar el mismo método que anteriormente, regresión lineal.



Al introducir el valor de la L_{pp} de obtendremos la manga de nuestro buque:

$$B = 0,171 \cdot 285 - 2,7912 = 45,94m$$

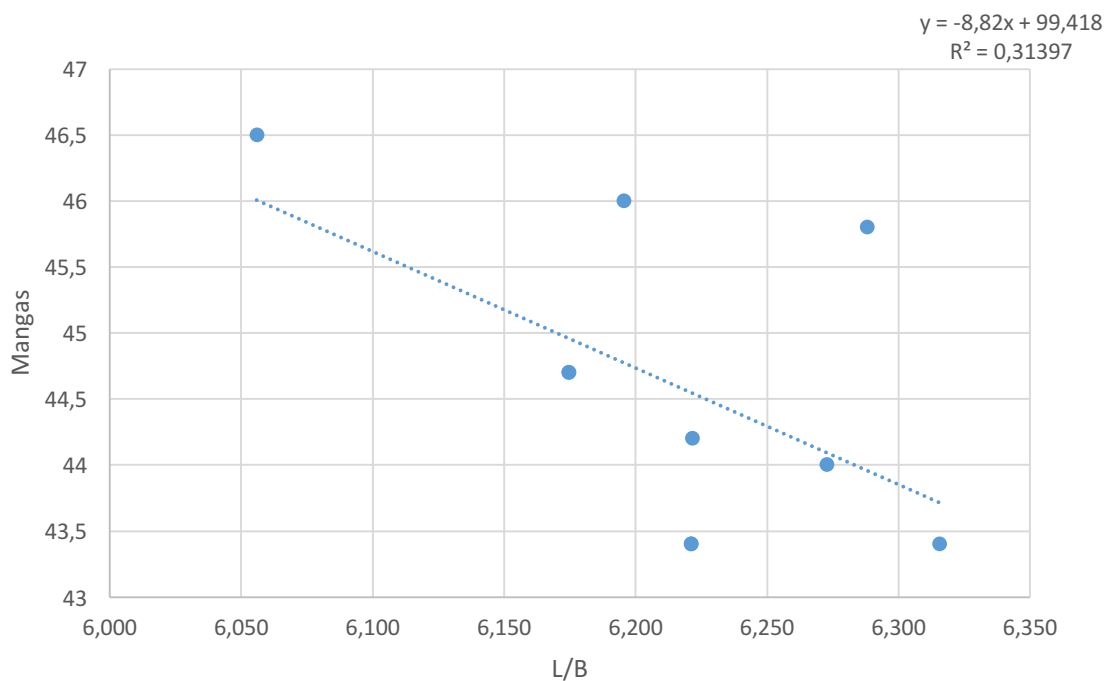
Calcularemos también la manga por otro método, en función de L/B :



$$L / B = -0,0014 \cdot 285 + 6,6036 = 6,20m$$

Introduciendo la eslora →

A partir de este valor de L/B, obtendremos en valor de la manga:



Por lo tanto la manga por este método resulta:

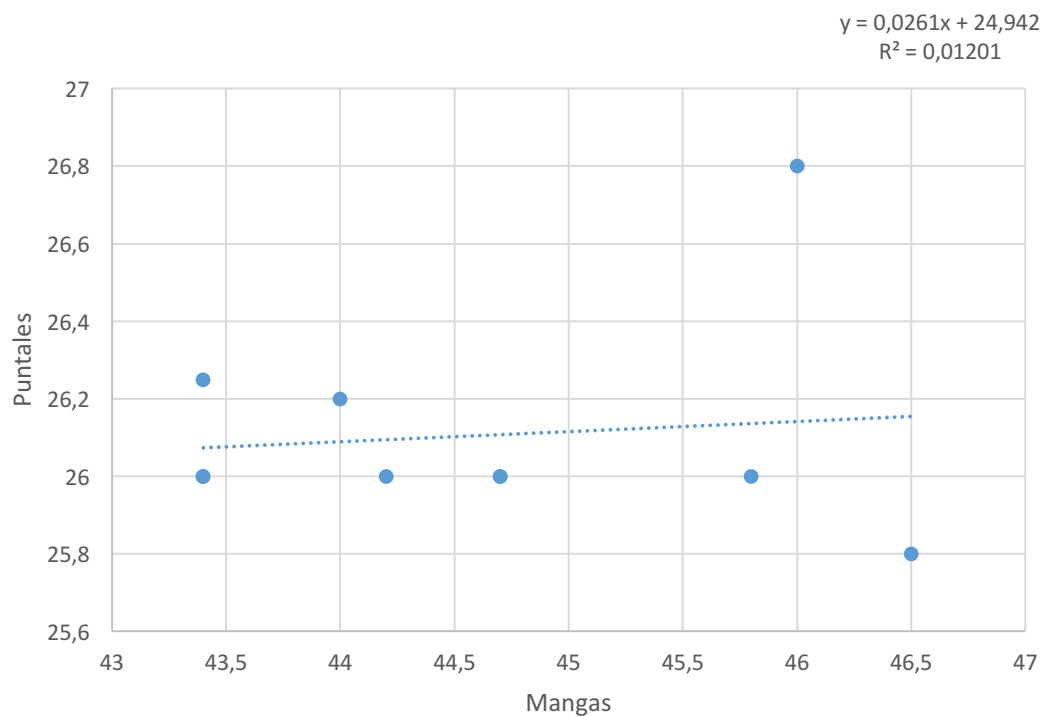
$$B = -8,82 \cdot 6,20 + 99,418 = 44,73m$$

Buque base	45,46 m
Rectas de regresión 1º método	45,94 m
Rectas de regresión 2º método	44,73 m
Media	45,37 m

Escogeremos el mayor de los valores obtenidos para evitar futuros problemas constructivos, $B = 45,94 \approx 46$ m.

- CALCULO DEL PUNTAL

Siguiendo con la metodología anterior:

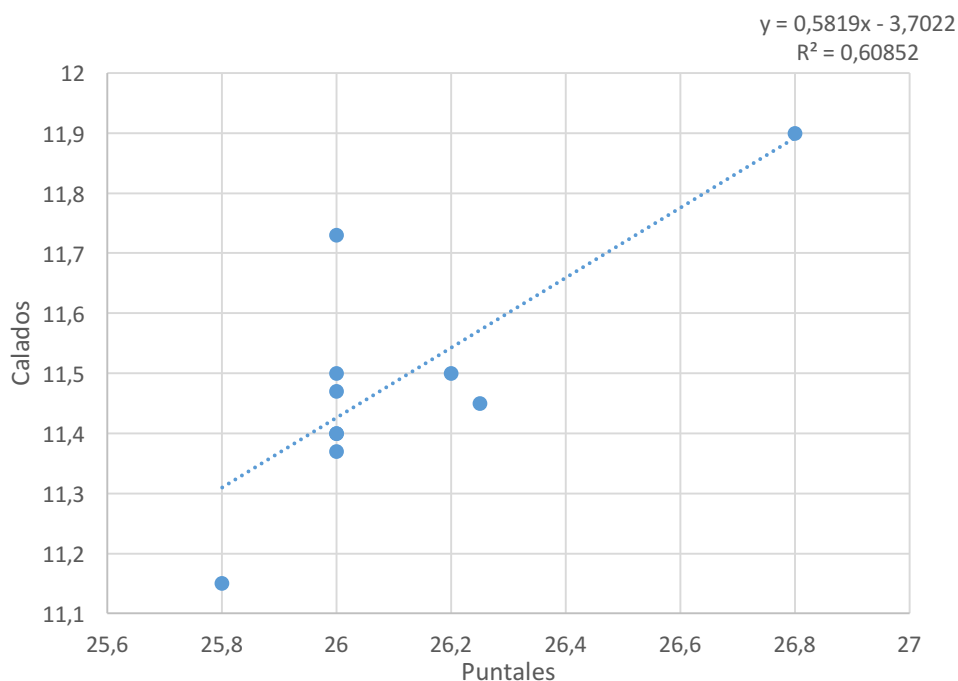


Sustituyendo nuestra manga en la ecuación de la recta de regresión:

$$D = 0,0261 \cdot 46 + 24,942 = 26,14m$$

- CÁLCULO DEL CALADO

De nuevo, dimensionamos el calado mediante regresión:



Obteniendo:

$$T = 0,5819 \cdot 26,14 - 3,7022 = 11,51m$$

Realizando otros cálculos por regresión como pueden ser $T = f(L)$, $T = f(B)$, $T = f(D)$ y $T = f(T/D)$, obtenemos aproximaciones del mismo orden que el representado en la figura anterior, por lo que vamos a optar por calcular el calado como $B/T = \text{cte}$. De nuestra base de datos obtenemos que:



Nombre	B/T
Maersk Qatar	3,81
British esmerald	3,85
Dapeng Sun	3,79
Trinity Arrow	3,93
STX kolt	3,83
GDF Suez Neptune	3,81
Seri Balhaf	4,17
Abdelkader	3,87
Castillo de Santisteban	3,95
GDF Suez Point Fortin	3,81

La media de los valores es: $B/T = 3,88$.

Despejando T con la manga de nuestro buque (46) obtendremos: $T = 12$ m.

Los dos valores calculados para el puntal son bastante similares, por lo que utilizaremos la media obtenida entre ambos.

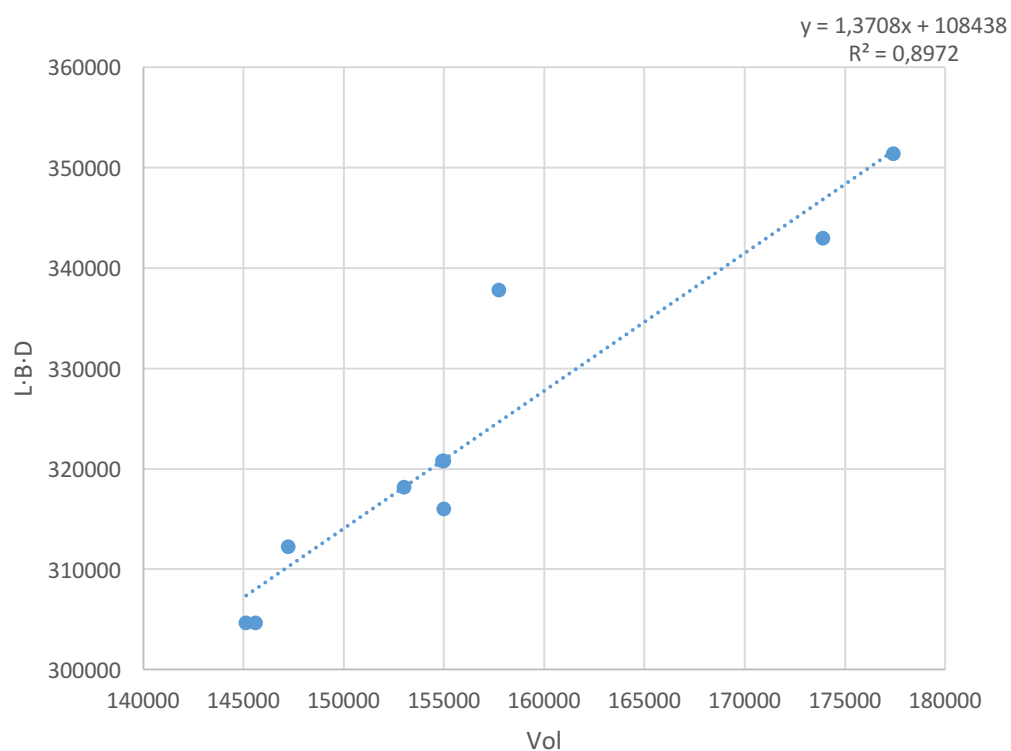
Regresión	11,51 m
B/T	11,86 m
Media	11,68 m

- RESULTADOS DEL PRIMER DIMENSIONAMIENTO

L _{PP} (m)	B (m)	D (m)	T (m)	Fn
285	46	26,14	11,68	0,204

- CÁLCULO DE LA RELACIÓN BLOQUE-VOLUMEN DE CARGA

Al tratarse de un buque de volumen debemos considerar la relación existente entre L·B·D y la capacidad de carga del barco para garantizar que con las dimensiones obtenidas podamos cargar los 170.000 metros cúbicos fijados en los RPA.



$$L \cdot B \cdot D = 1,3708 \cdot m^3 + 108438 = 1,3708 \cdot 170000 + 108438 = 341474 m^3$$

Este valor debe ser menor o igual que la relación $L \cdot B \cdot D$ de nuestro buque, es decir,

$$L \cdot B \cdot D \geq 341474 \text{ m}^3$$

$$285 \cdot 46 \cdot 26,14 = 342695,4 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, el buque proyectado con las dimensiones antes calculadas cumple con los requisitos de transportar 170000 m³ de LNG.

4 CÁLCULO DE COEFICIENTES

Por tratarse de un buque de volumen, utilizaremos las siguientes expresiones para la determinación de V_h y de C_{bc} :

$$V_h = C_{BD} \cdot L \cdot B \cdot D$$

$$C_{BD} = C_B + C \cdot \frac{D-T}{T} (1 - C_B), \text{ con el valor } C=0,3 \text{ para formas en U.}$$

Para el coeficiente de bloque utilizaremos la siguiente expresión:

$$C_B = C_M \cdot C_P$$

Siendo,

$$C_M = 1 - 2 \cdot Fn^4 \quad (\text{Scheneekluth y Murray})$$

$$C_P = 1,2 - 2,12 \cdot F_n \quad (\text{Troost})$$

$$Fn = \frac{v}{\sqrt{g \cdot L}}$$

Y el número de Froude:

A partir der estas expresiones obtenemos:

Nombre	F _n	C _M	C _P	C _B (C _P *C _M)	CBD
Maersk Qatar	0,206	0,996	0,768	0,765	0,855
British esmerald	0,198	0,997	0,784	0,782	0,865
Dapeng Sun	0,193	0,997	0,794	0,792	0,872
Trinity Arrow	0,193	0,997	0,795	0,793	0,873
STX kolt	0,201	0,997	0,779	0,776	0,862
GDF Suez Neptune	0,195	0,997	0,791	0,788	0,870
Seri Balhaf	0,191	0,997	0,799	0,797	0,877
Abdelkader	0,191	0,997	0,800	0,797	0,874
Castillo de Santisteban	0,198	0,997	0,785	0,783	0,864
GDF Suez Point Fortin	0,193	0,997	0,795	0,793	0,869
LNG proyectado	0,204	0,997	0,771	0,768	0,854

En la ficha técnica del buque Castillo de Santisteban (Anexo 1), se proporciona el valor del coeficiente de bloque real del buque.

Nombre	Δ(t)	L _{pp} (m)	B(m)	D(m)	T(m)	v(kn)	C _B
Castillo de Santisteban	128987	288	45,8	26	11,6	20,42	0,7614

El valor del coeficiente real del buque Castillo de Santisteban no se ajusta al valor obtenido mediante la formulación. Por este motivo se procederá a hallar un factor K que representa el error cometido mediante la formulación.

$$K = \frac{0,7614}{0,783} = 0.972$$

Aplicando K al cálculo de todos los buques de la base de datos, tenemos que:

Nombre	F _n	C _M	C _P	C _B (C _P *C _M)	CBD
Maersk Qatar	0,206	0,996	0,768	0,743	0,842
British esmerald	0,198	0,997	0,784	0,760	0,851
Dapeng Sun	0,193	0,997	0,794	0,769	0,859
Trinity Arrow	0,193	0,997	0,795	0,771	0,859
STX kolt	0,201	0,997	0,779	0,754	0,849
GDF Suez Neptune	0,195	0,997	0,791	0,766	0,856
Seri Balhaf	0,191	0,997	0,799	0,775	0,864
Abdelkader	0,191	0,997	0,800	0,775	0,860
Castillo de Santisteban	0,198	0,997	0,785	0,761	0,850
GDF Suez Point Fortin	0,193	0,997	0,795	0,771	0,854
LNG proyectado	0,204	0,997	0,771	0,747	0,841

Con lo que C_B de nuestro barco es 0,747 para esta primera aproximación.

$$Y V_h = 285 \cdot 46 \cdot 26,14 \cdot 0,841 = 288206,8314 \text{ m}^3$$

A continuación se procederá al cálculo de los coeficientes de un buque de manera más detallada.

4.1 COEFICIENTE DE BLOQUE

El coeficiente de bloque C_B es fundamental para representar las formas del buque. En algunos casos este protagonismo lo ocupa el coeficiente prismático, especialmente en buques rápidos, de guerra, etc...El CB tiene una incidencia muy grande sobre la resistencia a la marcha y sobre la capacidad de carga, y, en menos medida sobre la estabilidad, maniobrabilidad etc.

El coeficiente de bloque que utilizaremos estará en el rango 0,74-0,76 recomendado para buques LNG.

- FÓRMULA $C_B = f(F_n)$

Diversos autores ofrecen una serie de formulaciones para calcular el coeficiente de bloque:

MUNRO – SMITH: $C_B = 1 - 0,19 \cdot v/\sqrt{L}$

VAN LAMMEREN: $C_B = 1,137 - 0,6 \cdot v/\sqrt{L}$

MINORSKY: $C_B = 1,22 - 2,38 \cdot F_n$

ALEXANDER:

$$C_B = K_1 - K_2 \cdot F_n \rightarrow K_2 = 1,68$$

 $K_1 =$ De acuerdo con AYRE:

1,08 Para buques de una hélice

1,09 Para buques de dos hélices

1,06 Normalmente

$$C_B = 1,08 - 1,68 \cdot F_n$$

Se puede observar que las expresiones siguen la forma:

$$C_B = a - b \cdot F_n$$

Se cogen dos barcos de la base de datos de los que se conoce el desplazamiento. A partir de este valor se podrá conocer su coeficiente de bloque y así determinar las constante a y b de la expresión anterior.

Como referencia se cogerán los buques Castillo de Santisteban y Maersk Qatar.

Nombre	V(m ³)	Δ(t)	L _{pp} (m)	B(m)	D(m)	T(m)	v(kn)	C _B
Maerk Qatar	145600	102000	270	43,4	26	11,4	20,6	0,745
Castillo de Santisteban	173887	128987	288	45,8	26	11,6	20,42	0,7614

Se procede a calcular los coeficientes “a” y “b”.

$$a = 1,1673$$

$$b = 2,05$$

Con estos coeficientes se puede obtener ya el valor aproximado del coeficiente de bloque del buque proyectado.

$$C_B = 1,1673 - 2,05 \cdot 0,204 = 0,749$$

- KATSOULIS

$$\text{KATSOULIS: } C_B = K \cdot f \cdot L^a \cdot B^b \cdot D^c \cdot V^d \rightarrow K = 0,8217$$

$$a = 0,42$$

$$b = -0,3072$$

$$c = 0,1721$$

$$d = -0,6135$$

L = Eslora entre P.P (m)

B = Manga (m)

D = Puntal (m)

V= Velocidad de servicio(nudos)

f = 1,04 para gaseros

$$C_B = 0,8217 \cdot 1,04 \cdot L^{0,42} \cdot B^{-0,3072} \cdot T^{0,1721} \cdot V^{-0,6135}$$

Aplicando esta fórmula al buque Castillo de Santisteban y al buque proyecto se obtiene:

Nombre	Lpp(m)	B(m)	D(m)	T (m)	V(kn)	C _B Katsoulis	C _B Real
Castillo de Santisteban	288	45,8	26	11,6	20,42	0,798	0,7614
LNG proyecto	285	46	26,14	11,68	21	0,794	-

Se propone hallar un factor K que representa el error cometido mediante la formulación, ya que se puede comparar el valor obtenido mediante la formulación con el valor real del coeficiente de bloque del buque base.

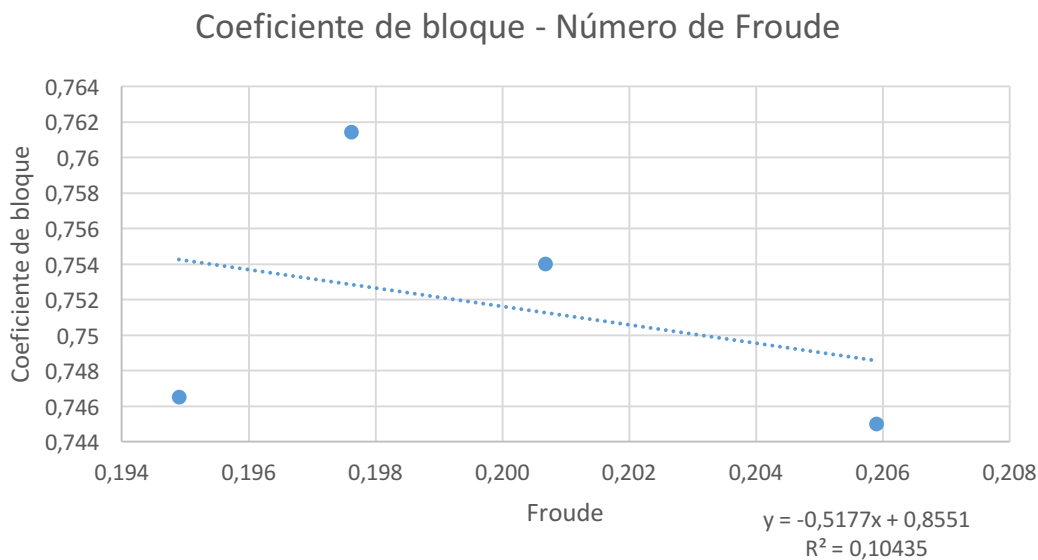
$$K = \frac{0,7614}{0,798} = 0.954$$

Aplicando este factor corrector a la fórmula de Katsoulis se obtiene:

Nombre	Lpp(m)	B(m)	D(m)	T (m)	V(kn)	C _B Katsoulis	C _B Real
LNG proyecto	285	46	26,14	11,68	21	0,794	0,757

- COEFICIENTE DE BLOQUE MEDIANTE REGRESIÓN

Por último lugar interpolamos los el coeficiente de bloque frente al número de Froude. El principal problema es que disponemos de pocos puesto que el coeficiente de bloque no se facilita en todos los casos.



$$C_B = -0,5177 \cdot F_n + 0,8551 = -0,5177 \cdot 0,204 + 0,8551 \quad R^2 = 0,2938$$

$$C_B = 0,749$$

Haciendo la media de los coeficientes de bloque obtenidos, se obtiene:

Método	C _B
Inicial	0,747
Fórmula C _B = f (F _n)	0,749
Katsoulis corregido	0,757
REGRESIÓN C _B - F _N	0,749
MEDIA	0,7505

Y como:

$$C_B = \frac{\Delta}{1,025 \cdot L \cdot B \cdot T} \rightarrow \Delta = C_B \cdot 1,025 \cdot L \cdot B \cdot T$$

Se puede hallar una primera aproximación del desplazamiento:

$$\Delta = 0,7505 \cdot 1,025 \cdot 285 \cdot 46 \cdot 11,69 = 117894,017t$$

4.2 COEFICIENTE DE LA SECCIÓN MEDIA

El coeficiente de la sección media (C_M) influye sobre la resistencia a la marcha de la carena y además tiene una repercusión directa sobre la extensión de la zona curva del casco en el pantoque. Varios autores han publicado las siguientes fórmulas que relacionan C_M con C_B en base a consideraciones hidrodinámicas, válidas para buques de carga. Como el número de Froude (F_N) es menor que 0,5 tenemos que el coeficiente de maestra es:

$$C_M = 1 - 2 \cdot F_N^4 = 1 - 2 \cdot (0,204)^4 = 0,9965$$

- Fórmula HSVA

$$C_M = \frac{1}{1 + (1 - C_B)^{3,5}}$$

$$C_M = \frac{1}{1 + (1 - 0,7505)^{3,5}} = 0,9923$$

- Fórmula de KERLEN

$$C_M = 1,006 - 0,0056 \cdot C_B^{-3,56}$$

$$C_M = 1,006 - 0,0056 \cdot 0,7505^{-3,56} = 0,9904$$

Para elegir el valor final del coeficiente de la sección media realizo la media aritmética de los valores obtenidos:

$$C_M = 0,993$$

4.3 COEFICIENTE PRISMÁTICO LONGITUDINAL

Mediante el método del buque base obtuvimos un valor aproximado del coeficiente prismático igual a 0,7675.

Una vez se han definido los coeficientes C_B y C_M , el coeficiente prismático C_P es igual a C_B/C_M .

$$C_P = \frac{C_B}{C_M} = \frac{0,7505}{0,9923} = 0,756$$

- FÓRMULA DE H. E. SAUNDERS

A continuación se incluye un gráfico de H. E. Saunders sacado del libro “*Proyecto básico del buque mercante*” en el que se relaciona C_P con F_N y en el que se puede apreciar que para valores de F_N mayores de 0,35 el C_P tiende a aumentar, y es prácticamente constante para valores mayores de 0,5.

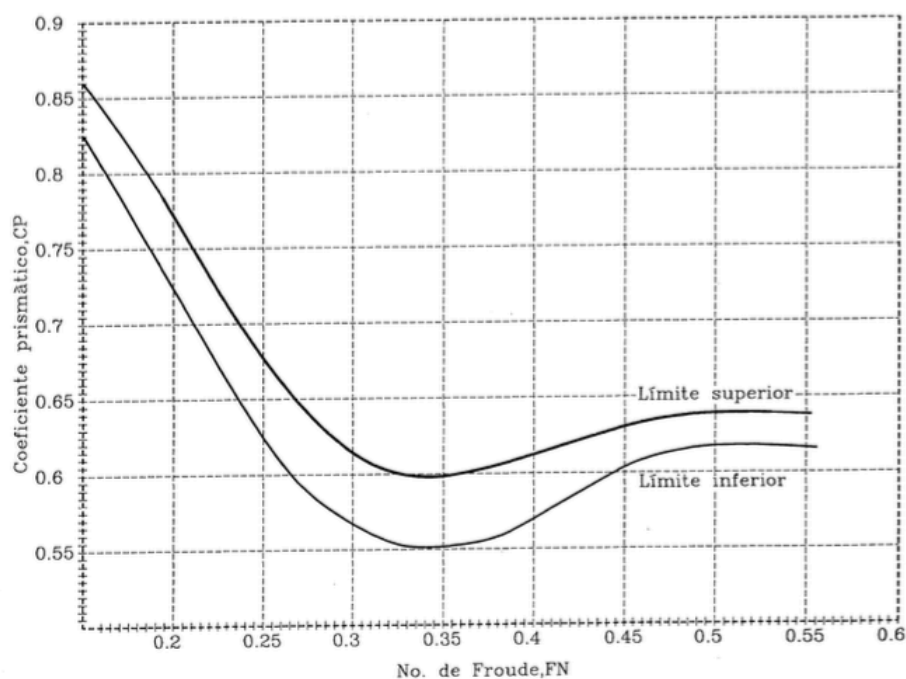


Figura 3.4.2.- Coeficiente prismático longitudinal, C_P .

Las dos curvas de este gráfico se pueden aproximar por la siguiente fórmula:

$$C_P = c_1 + c_2 \cdot F_N + c_3 \cdot F_N^2 + c_4 \cdot \ln(F_N) + c_5 \cdot (\ln(F_N))^2$$

Siendo los valores de los coeficientes, los siguientes para las dos curvas, superior e inferior del gráfico.

Coeficiente	Curva inferior	Curva superior
C₁	-36,60	-34,60
C₂	57,51	53,90
C₃	-22,20	-20,30
C₄	-23	-22
C₅	-3,97	-3,86

Por lo tanto,

$$C_{P_{\text{inf}}} = -36,60 + 57,51 \cdot 0,204 - 22,20 \cdot 0,204^2 - 23 \cdot \ln(0,204) - 3,97 \cdot (\ln(0,204))^2 = 0,738$$

$$C_{P_{\text{sup}}} = -34,60 + 53,90 \cdot 0,204 - 20,30 \cdot 0,204^2 - 22 \cdot \ln(0,204) - 3,86 \cdot (\ln(0,204))^2 = 0,769$$

- FÓRMULA DE L. TROOST

Para buques de una hélice y para buques con números de Froude menores a 0,35.

$$C_P = 1,20 - 2,12 \cdot F_N$$

$$C_P = 1,20 - 2,12 \cdot 0,204 = 0,768$$

Realizo la media entre los valores obtenidos y obtengo un coeficiente prismático igual a $C_P = 0,758$.

4.4 COEFICIENTE LONGITUDINAL DEL CENTRO DE CARENA

Mediante el método del buque base obtuvimos un valor aproximado de la posición longitudinal del centro de carena respecto a la sección media igual a 1,67 m.

A continuación se indica una fórmula publicada por L. Troost sobre la posición adecuada del X_B para que la resistencia al avance sea mínima.

$$X_B = \frac{(17,5 \cdot C_{P_0} - 12,5) \cdot L_0}{100}$$

$$X_B = \frac{(17,5 \cdot 0,756 - 12,5) \cdot 285}{100} = 2,08m$$

En esta fórmula X_B es la abscisa del centro de carena en porcentaje de la eslora entre perpendiculares, respecto a la sección media, con valores positivos a proa de la misma.

En la siguiente gráfica se presentan unos valores adecuados del X_B de varios tipos de buques, en función de su coeficiente de bloque (C_B).

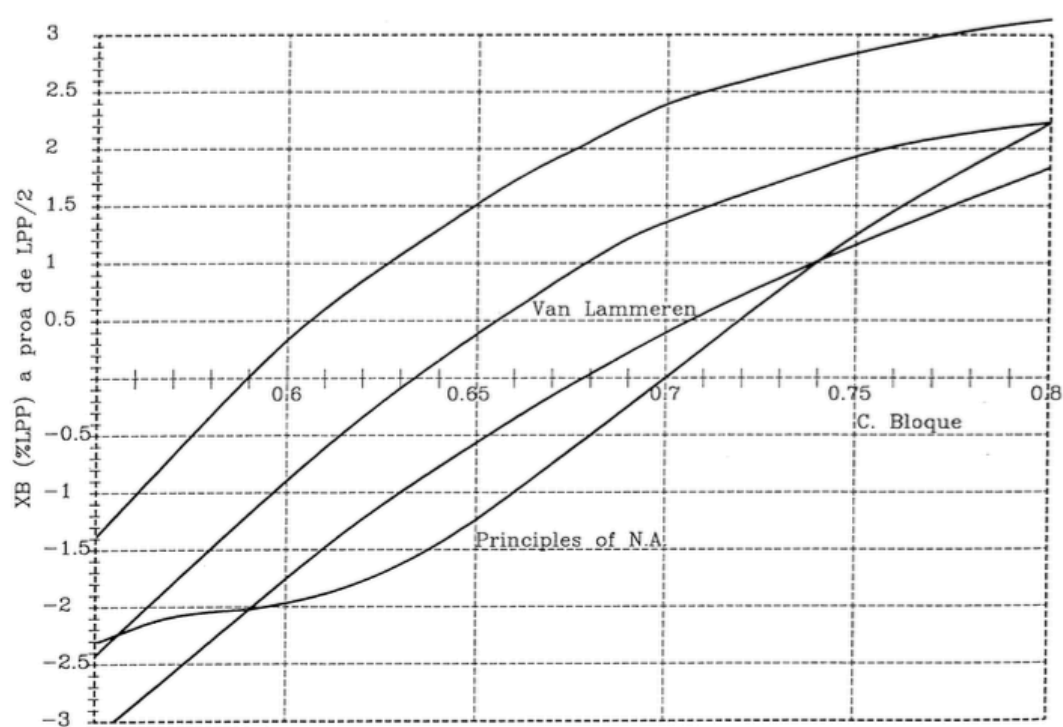


Figura 3.4.3.- Abscisa del centro de carena, X_B , según Van Lammeren y SNAME.

5 ELECCIÓN DE LA CIFRA DE MÉRITO

Los criterios de mérito utilizados más frecuentemente son los siguientes:

- Coste de construcción mínimo.
- Inversión total mínima.
- Coste del ciclo de vida mínimo.
- Flete requerido mínimo.
- Tasa de recuperación de capital propio máxima.
- Tasa de rentabilidad interna máxima.

En el buque proyectado se escogerá como cifra de mérito el coste de construcción mínimo ya que es el empleado por los astilleros para establecer características pendientes de definir en un buque ya contratado con un valor de oferta mínimo. Para ello primero debemos calcular el peso en rosca del buque y optimizar resultados.

5.1 ESTUDIO PRELIMINAR DE PESOS

En este punto conviene efectuar una comprobación del desplazamiento, así como calcular los pesos de acero, maquinaria y habilitación y equipo del buque.

Para formular un valor aproximado del desplazamiento (Δ), el procedimiento tradicional de hallar una relación media de Peso Muerto/ Desplazamiento en buques similares es indeseable, puede proporcionar errores de importancia.

El desplazamiento se divide en dos partes:

-Peso en rosca

-Peso muerto

5.1.1 CALCULO DEL PESO EN ROSCA

El cálculo del peso en rosca se divide en tres partes:

- Peso de acero
- Peso de maquinaria
- Peso de habilitación y equipo

- PESO DEL ACERO

Por el método de Sv. Aa. Harvarld y J. Juncher tenemos que:

$$WST = C_s(L_{pp} \times B \times D + Sup)$$

Peso del acero:

$$C_s = C_{s0} + 0,064 \cdot e^{(-0,50 \cdot u - 0,10 \cdot u^{2,45})}$$

$$C_s = 0,0664 + 0,064 \cdot e^{(-0,50 \cdot 3,071 - 0,10 \cdot 3,071^{2,45})} = 0,069289$$

$$u = \log\left(\frac{\Delta}{100}\right) = \log\left(\frac{117894,017}{100}\right) = 3,071$$

$$Sup = 0,8 \cdot B \cdot (1,45 \cdot L_{pp} - 11) = 0,8 \cdot 46 \cdot (1,45 \cdot 285 - 11) = 14802,8$$

$$\text{De manera que: } Pacero = WST = 0,069289 \cdot (285 \cdot 46 \cdot 26,14 + 14802,8) = 24770,69t$$

-MÉTODO DE PRODUCTOS

$$M_{st} = 3,444 \cdot Z^{0,69} \cdot L \cdot M \cdot N \cdot P \cdot Q$$

Siendo:

$$M_{st} = 3,444 \cdot Z^{0,69} \cdot L \cdot M \cdot N \cdot P \cdot Q$$

$$M = 1,104 - 0,016 \cdot \frac{L}{B} = 1,104 - 0,016 \cdot \frac{285}{46} = 1,004$$

$$N = 0,530 + 0,040 \cdot \frac{L}{D} = 0,530 + 0,040 \cdot \frac{285}{26,14} = 0,966$$

$$P = 1,980 - 0,040 \cdot \frac{L}{D} = 1,980 - 0,040 \cdot \frac{285}{26,14} = 1,544$$

$$Q = 1,146 - 0,0163 \cdot \frac{L}{D} = 1,146 - 0,0163 \cdot \frac{285}{26,15} = 0,968$$

Z es el módulo resistente de la cuaderna maestra, en m³, cuyo valor puede calcularse con suficiente aproximación a partir de:

$$Z = F \cdot L^2 \cdot B \cdot (C_B + 0,7) \cdot 10^{-6}$$

Dónde:

$$F = 12,32 - 1,0802 \cdot \left(300 - \frac{L}{100} \right)^{3/2}$$

$$F = 12,32 - 1,0802 \cdot \left(300 - \frac{285}{100} \right)^{3/2} = 12,257$$

Por lo tanto,

$$Z = 12,257 \cdot 285^2 \cdot 46 \cdot (0,7505 + 0,7) \cdot 10^{-6} = 66,428 m^3$$

Y de esta forma puedo calcular el peso del acero,

$$M_{st} = 3,444 \cdot Z^{0,69} \cdot L \cdot M \cdot N \cdot P \cdot Q$$

$$M_{st} = 3,444 \cdot 66,428^{0,69} \cdot 285 \cdot 1,005 \cdot 0,966 \cdot 1,544 \cdot 0,968 = 25762,984t$$

Haciendo la media de los dos métodos utilizados del peso de acero del buque de proyecto se obtiene:

$$P_{acero} = 25266,837t$$

5.1.2 PESO DEL EQUIPO Y HABILITACIÓN

$$P_{HyE} = WOA = Ke \cdot L_{PP} \cdot B$$

$$\text{Para buques gaseros: } Ke = 0,36 - 0,53 \cdot 10^{-3} \cdot L_{PP} = 0,2089$$

$$\text{Así que: } P_{HyE} = WOA = 0,2089 \cdot 285 \cdot 46 = 2738,679t$$

5.1.3 PESO DE LA MAQUINARIA PROPULSORA Y AUXILIAR

- PESO DEL MOTOR PRINCIPAL

Para el cálculo de la potencia necesaria utilizaremos la ecuación de Watson:

$$BHP = \frac{0,889 \cdot \Delta^{2/3} \cdot \left(40 - \frac{L_{PP}}{61} + 400(K-1)^2 - 12 \cdot C_B\right)}{15000 - 1,81 \cdot N \cdot \sqrt{L_{PP}}} \cdot V^3$$

Donde,

N: son las r.p.m del motor. En esta fase preliminar las estimaremos en 84,9 r.p.m fijándonos en las de nuestro buque base.

K = 1,06 (constante de la fórmula de Alexander)

Y los valores previamente calculados:

$\Delta = 117894,017$ toneladas

$C_B = 0,7505$

$L_{PP} = 285$ m

$v = 21$ knots

$$BHP = \frac{0,889 \cdot 117894,017^{2/3} \cdot \left(40 - \frac{285}{61} + 400(k-1)^2 - 12 \cdot 0,7505\right)}{15000 - 1,81 \cdot 84,9 \cdot \sqrt{285}} \cdot 21^3 = 44297,5HP$$

Con la estimación de la potencia se puede hallar el peso de la máquina principal mediante la fórmula:

$$P_{MP} = N_p \cdot a \cdot \left(\frac{BHP}{N_p \cdot rpm} \right)^b + c \cdot \left(\frac{BHP}{N_p} \right)^d$$

N_p : Es el número de hélices

$$a = 9,38$$

$$b = 0,84$$

$$c = 0,59$$

$$d = 0,70$$

$$P_{MP} = 19,38 \cdot \left(\frac{44297,5}{184,9} \right)^{0,84} + 0,59 \cdot \left(\frac{44297,5}{1} \right)^{0,70} = 2853,52t$$

- PESO DEL EQUIPO RESTANTE

El peso restante de la instalación de maquinaria se calcula a partir de:

$$P_{ER} = \frac{BHP}{35} + 200 = 1465,64t$$

$$P_{ER} = \frac{44297,5}{35} + 200 = 1465,64t$$

- PESO DE LA MAQUINARIA

El peso total de la maquinaria será la suma de los dos pesos anteriores.

$$P_M = P_{MP} + P_{ER}$$

$$P_M = 2853,52t + 1465,64t = 4319,16t$$

- PESO DE LA LÍNEA DE EJES FUERA DE LA CÁMARA DE MÁQUINAS

$$P_{Líneaejes} = Kne \cdot L_{eje} \cdot (5 + 0,0164 \cdot L_{pp})$$

Siendo,

L_{eje} : Longitud de la línea de ejes. Tomamos como referencia: $L_{eje} = 6$ m.

Kne : Número de líneas de eje. $Kne = 1$

Al sustituir se obtiene:

$$P_{Líneaejes} = 1 \cdot 6 \cdot (5 + 0,0164 \cdot 285) = 58,044tn$$

5.2 PESO EN ROSCA

Sumando los pesos anteriormente calculados, se obtiene un peso en rosca total de:

PARTIDA	PESO
Peso de Acero	$P_{Acero} = 25266,84$ t
Peso de Maquinaria	
Motor Principal	$P_{MP} = 2853,52$ t
Equipo restante	$P_{ER} = 1465,64$ t
Línea de Ejes	$P_{Líneaejes} = 58,044$ t
Peso de Habilitación y Equipo	$P_{HYE} = 2739,33$ t
Total	$PR = 33907,51$ t
Margen 5%	1695,38t
ROSCA	$PR = 35660,92$ t

5.3 CÁLCULO DEL PESO MUERTO

Dado que el desplazamiento es:

$$\Delta = PM + PR$$

Se puede obtener el peso muerto como:

$$PM = \Delta - PR = 117894,017 - 35660,92 = 82233,097t$$

Estimado el Peso en Rosca debe comprobarse si el Peso Muerto Estimado, obtenido por diferencia entre el Desplazamiento y el Peso en Rosca Estimado, es superior o inferior al Peso Muerto Requerido.

$\Delta(t)$	Peso Rosca (t)	Peso Muerto (t)
117894,017	35660,92	82233,097 t

El Peso Muerto es la suma de la carga útil y los consumos.

- Peso de combustible:

La siguiente expresión se calcula a partir del consumo específico de combustible, como en esta fase del cuaderno todavía no se han escogido los generador diesel tomamos los datos de los generadores del buque base, 5 generadores MAN DIESEL 8L5160 DF.

**Bore: 510 mm, Stroke: 600 mm**

Speed	r/min	514	500
mep	bar	19.1	19.1
		kW	kW
6L51/60DF		6,000	5,850
7L51/60DF		7,000	6,825
8L51/60DF		8,000	7,800
9L51/60DF		9,000	8,775

LHV of fuel gas $\geq 28,000$ kJ/Nm³

(Nm³ corresponds to one cubic meter of gas at 0 °C and 1.013 bar)

Specific Fuel Oil Consumption (SFOC) and Heat Rate to ISO conditions

MCR	100%	85%
Specific fuel oil consumption ¹⁾	180.0 g/kWh ³⁾ 180.0 g/kWh ⁴⁾	179.0 g/kWh ³⁾ 179.0 g/kWh ⁴⁾
Heat rate ²⁾	7,360 kJ/kWh ³⁾ 7,470 kJ/kWh ⁴⁾	7,350 kJ/kWh ³⁾ 7,520 kJ/kWh ⁴⁾
Specific lube oil consumption 0.4 g/kWh		
Engine type specific reference charge air temperature before cylinder 43 °C		

$$P_{COMB} = \frac{C_e \cdot BKW \cdot Autonomía}{V_s \cdot 1000} = \frac{0,179 \cdot 5 \cdot 7700 \cdot 5 \cdot 12000}{21 \cdot 1000} = 3938t$$

- Ce: consumo específico del motor principal. 0,179 kg/kWh
- BKW: 5 generadores MAN DIESEL 8L51 60 DF (7700 kW)
- Autonomía: 12000 millas

Agua dulce: 200 litros por persona y día. 24 días de autonomía (12000 millas) a 21 nudos. 26 tripulantes.

$$P_{AD} = \frac{200 \cdot 26 \cdot 24}{1000} = 124,8t$$

Aceite y otros: se calcula en función del porcentaje de combustible.

$$P_{aceite} = 0,03 \cdot P_{COMB} = 0,03 \cdot 3938 = 118,14t$$

- Tripulación

El buque tiene una tripulación de 26 personas. Se considera un peso de 125 kg por persona, por lo tanto:

$$P_{\text{trip}} = 26 \cdot 125 = 3250 \text{ kg}$$

- Víveres

Se recomiendan 5 kg por persona y día en buques mercantes.

Autonomía: 12000 millas

Velocidad: 21 knots

$$\frac{12000 \text{ millas}}{21 \text{ knots}} = \frac{12000 \text{ millas}}{21 \text{ milla/hora}} = 571,43 \text{ horas} = 23,81 \text{ días} \approx 24 \text{ días}$$

$$P_{\text{víveres}} = 5 \cdot 26 \cdot 24 = 3120 \text{ kg}$$

- Carga útil

El buque de proyecto debe cumplir con los requerimientos previstos de actividad (RPA) por lo debe ser capaz de transportar un volumen total de 170000 m³ de LNG. La densidad del LNG es 0,45 t/m³. Por lo tanto, el peso de la carga útil es:

$$P_c = 0,45 \cdot 170000 = 76500 \text{ t}$$

Resumen

CONCEPTO	PESO
Combustible	3938
Agua dulce	124,8
Acelte y otros	118,14
Tripulación	3,25
Viveres	3,120
Carga útil	76500
TOTAL	80687,31

Se puede afirmar que con el desplazamiento calculado de manera preliminar el buque puede transportar la carga requerida.

6 COSTES

La evaluación económica del buque proyectado se centrará en el coste de construcción mínimo. Para ello será necesario desglosar las siguientes partidas:

- El coste de construcción de construcción
- La inversión total mínima
- Coste de ciclo de vida mínimo
- Flete requerido mínimo
- El balance de ingresos y gastos.

Se realizarán los cálculos únicamente del coste de construcción ya que la cifra de mérito que se considerará posteriormente será el coste de construcción mínimo.

6.1 COSTE DE CONSTRUCCIÓN MÍNIMO

$$CC = CMg + CEq + CMO + CVa$$

CC: representa el coste de construcción

CMg: representa el costo de los materiales a granel

CEq: representa el costo de los equipos del buque

CMO: representa el costo de la mano de obra

CVa: representa otros gastos del astillero (Sociedades de Clasificación, ensayos en canal, representación, etc...)

El coste de construcción para el Astillero representa por lo general un 70%-80% de aportaciones ajenas y un 30%-20% de valor añadido para el astillero. Estos valores pueden variar dependiendo del astillero y del tipo de buque.

6.1.1 COSTE DE MATERIALES A GRANEL

$$CMg = cmg \cdot PS = ccs \cdot cas \cdot cem \cdot ps \cdot PS$$

Cmg: representa el coeficiente de coste de material a granel. Básicamente chapas y perfiles de acero

PS: representa el peso de aceros del buque

Ccs: representa el coeficiente ponderado de las chapas y perfiles de distintas calidades de acero ($1,05 < ccs < 1,10$)

Cas: representa el coeficiente de aprovechamiento del acero en relación con el pedido de materiales ($1,08 < cas < 1,15$)

Cem: representa el coeficiente de incremento por equipo metálico incluido en la estructura tales como tecele, registro, escotillas, etc... ($1,03 < cem < 1,10$)

Ps: Representa el precio unitario del acero para referencia. Conjunto de chapas y perfiles de distintas calidades. Ps= 450€/t

PS: peso de aceros del buque

$$CMg = cmg \cdot PS = 1,06 \cdot 1,10 \cdot 1,05 \cdot 450 \cdot 25266,837 = 13,93 \text{ M€}$$

6.1.2 COSTE DE LA MANO DE OBRA (CMO)

$$CMo = CMm + CMe$$

$$CMm = chm \cdot csh \cdot PS$$

CMo: representa el costo de la mano de obra

CMm: representa el costo de la mano de obra de montaje de materiales a granel

Cme: representa el costo de la mano de obra de montaje de los equipos e instalaciones del buque

chm representa el costo horario medio del Astillero (21/25 < csh 30/40 €/hora)

- csh: representa el coeficiente de horas por unidad de peso. Este ratio está directamente relacionado con la capacidad productiva del astillero (20/30 < csh < 80/100 horas/tonelada)
- PS representa el peso de aceros del buque

De esta manera el coste de mano de hora es:

$$CMo = chm \cdot csh \cdot PS + CMe$$

$$CMo = 30 \cdot 40 \cdot 25266,837 = 30,3 \text{ M€}$$

El coste de mano de obra de montaje de los equipos e instalaciones se contabiliza en la siguiente partida.

6.1.3 COSTE DE LOS EQUIPOS (CEQ) Y DE SU MONTAJE (CME)

$$CEq + CMe = CEc + CEp + CHf + CEr$$

$$CEp = cep \cdot BP$$

$$CHf = chf \cdot nch \cdot NT$$

$$CEr = cer \cdot Per = ccs \cdot ps \cdot Per$$

- cep: CEq : representa el costo de los equipos del buque
- CMe: representa el costo de la mano de obra de montaje de los equipos e instalaciones del buque
- CEc: representa el coste de los equipos de manipulación de la carga, montaje incluidos
- CE: representa el coste de los equipos de propulsión, de sus auxiliares y su montaje
- CHf: representa el coste de la habilitación y fonda incluidos su montaje

- CER: representa el coste del equipo restante incluido su montaje
- representa el coeficiente de coste por unidad de potencia de los equipos de propulsión y de sus auxiliares $300 < cep < 400$ €/kW
- BP: representa la potencia propulsora total
- Chf: representa el coeficiente de coste unitario de la habilitación por tripulante
- nch: representa el coeficiente de calidad de la habilitación $0,90 < nch < 1,20$
- NT: representa el número de tripulantes
- Per: representa el peso del equipo restante $PEr = 0,045 \cdot L^{1,3} \cdot B^{0,8} \cdot D^{0,3}$
- Ccs: representa el coeficiente ponderado de las chapas y perfiles de distintas calidades de acero $1,25 < ccs < 1,35$

La potencia propulsora que se utilizará en este apartado será la que se obtuvo anteriormente mediante formulación. Posteriormente en este cuaderno se obtendrá mediante software y hojas de cálculo un valor más óptimo.

$$BHP = 44297,5 \text{ HP} \cdot 0,746 = 33045,94 \text{ kW}$$

Por lo tanto, sustituyendo en las ecuaciones:

$$CEp = 350 \cdot 33045,94 \text{ kW} = 11,57 \text{ M€}$$

$$CHf = 35000 \cdot 1,1 \cdot 26 = 1,001 \text{ M€}$$

$$CEr = cer \cdot Per = 1,30 \cdot 450 \cdot 3980,24 = 2,32 \text{ M€}$$

$$CEq + CMe = 11,57 + 1,001 + 2,32 = 14,89 \text{ M€}$$

6.1.4 COSTES VARIOS APLICADOS (CVA)

$$CVa = cva \cdot CC$$

- CC: representa el costo de construcción
- CVa: representa otros gastos del astillero (Sociedades de clasificación, ensayos en canal, representación, etc ...)
- cva: representa el coeficiente de los costes varios del astillero referidos al coste de construcción del buque

De esta manera, los costes de construcción son:

$$CVa = 0,075 \cdot 59,12 = 4,43 \text{ M€}$$

6.1.5 COSTE DE CONSTRUCCIÓN (CC)

$$CC = CMg + CEq + CMo + CVa$$

$$CC = 13,93 + 30,3 + 14,89 + 4,43 = 63,57 \text{ M€}$$

7 ALTERNATIVA MÁS FAVORABLE

Para encontrar la alternativa más favorable minimizamos el coste de construcción utilizando la herramienta “Solver” de Microsoft. Para ello se añadirán una serie de restricciones a nuestras variables L, B, D y T.

Utilizando los valores dimensionales que aparecen en la base de datos se restringen algunas relaciones características para condicionar el cálculo.

	Lpp/T	B/T	Lpp/B	B/D	Lpp/D	T/D	Volumen/LBD
MÁX	25,26	4,17	6,32	1,80	11,08	0,45	0,51
MÍN	23,53	3,79	6,06	1,65	10,38	0,43	0,47

Además de estas restricciones, se ha añadido la de que el producto de L*B*D fuese mayor a 341474 m³ ya que es el valor que se calculó anteriormente para garantizar la carga de 170000 m³ (Punto 9).

Los valores obtenidos son los siguientes:

DIMENSIONES	CONFIG. INICIAL	CONFIG. FINAL	UDS.
m³	170000	170000	m ³
DESPLAZAMIENTO	117894,02	113523,92	t
PESO EN ROSCA	35660,9	34639,56	t
L	285	277,96	m
B	46	45,90	m
D	26,14	26,77	m
T	11,69	11,57	m
V	21	21	Kn
FN	0,204	0,207	-
CB	0,751	0,751	-
CM	0,997	0,996	-
CP	0,758	0,758	-
COSTE	63.58 M€	61.69 M€	-

Los informes entregados por el software se presentaran como Anexo I.

8 NUEVO ESTUDIO PRELIMINAR DE PESOS

Ahora que se han obtenido las dimensiones finales del buque de proyecto conviene volver a realizar el estudio de pesos ya que las principales características han variado.

Las dimensiones principales del buque proyectado son:

Vol (m ³)	Δ (t)	Lpp (m)	B (m)	D (m)	T (m)	V (kn)	C _B
170000	113523,92	277,96	45,90	26,77	11,57	21	0,751

A partir de la hoja de cálculo que utilizamos para el Solver obtenemos los nuevos peso en rosca y peso muerto del buque.

DESPLAZAMIENTO	113523,92	ton
PESO MUERTO	78884,36	ton
PESO ROSCA	34639,56138	ton

9 ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA PROPULSORA

En esta etapa del proyecto, el cálculo de la potencia propulsora se estima de modo orientativo. En el cuaderno 6 se realizará un estudio más detallado de la potencia propulsora.

Para el cálculo de la potencia se utilizará el software NavCad.

Vol (m³)	Δ (t)	Lpp (m)	B (m)	D (m)	T (m)	V (kn)	C_B
170000	113523,92	277,96	45,90	26,77	11,57	21	0,751

Algunos datos que necesita el Software para realizar los cálculos serán calculados mediante formulación y otros se obtendrán a partir del buque base Castillo de Santisteban.

A continuación se presentan los cálculos de parámetros y coeficientes que son necesarios para la estimación de la potencia propulsora mediante el programa NavCad.



-Eslora en la flotación

En el buque base coincide con la eslora entre perpendiculares por lo que mantendremos este factor con la eslora entre perpendiculares del buque que se está proyectando.

$$Lwl = 277,96m$$

-Bulbo de proa

Se mide sobre el plano del buque base Castillo de Santisteban:

$$Alturabulbo = 8,8$$

$$Protuberancia = 7,8$$

-Área transversal del bulbo de proa.

El área transversal del bulbo de proa en la perpendicular de proa se puede calcular mediante el siguiente cuadro que figura en el libro "El Proyecto Básico del Buque Mercante"

TABLA 1.3.2.
ÁREA TRANSVERSAL, $S_{a20}=100 \times S_{20}/S_{10}$

LPP/B	CB						
	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85
4,80	5,6	6,2	6,6	7,2	7,9	8,6	9,3
5,00	5,8	6,4	6,9	7,4	8,2	8,8	9,5
5,20	6,1	6,7	7,3	7,8	8,4	9,0	9,8
5,40	6,3	6,9	7,6	8,1	8,6	9,3	10,1
5,60	6,5	7,2	7,8	8,4	8,9	9,6	10,4
5,80	6,7	7,4	8,0	8,6	9,2	9,9	10,7
6,00	6,9	7,6	8,2	8,8	9,5	10,2	11,0
6,20	7,2	7,9	8,5	9,1	9,7	10,5	11,3
6,40	7,5	8,1	8,7	9,3	10,0	10,8	11,6
6,60	7,8	8,4	9,0	9,6	10,3	11,1	11,9
6,80	8,0	8,6	9,2	9,8	10,5	11,4	12,2
7,00	8,2	8,8	9,4	10,0	10,7	11,6	12,5
7,20	8,4	8,9	9,6	10,2	11,0	11,8	12,8

Se interpolan los siguientes datos con las de la tabla y se obtiene:

$$\frac{L_{pp}}{B} = 6,05; C_B = 0,75$$

$$Areatransversal = 9,55$$

-Coeficiente de área de la flotación

$$C_F = \frac{1+2\cdot C_B}{3} = \frac{1+2\cdot 0,75}{3} = 0,833$$

Según Schneekluth.

-Coeficiente del área de la maestra

$$C_M = 1 - 2\cdot Fn^4 = 1 - 2\cdot 0,204^4 = 0,9965$$

-Superficie Mojada

La superficie mojada se obtiene mediante la fórmula que tomamos de “El Proyecto Básico del Buque Mercante”

$$S = L_{wl} \cdot (2\cdot T + B) \cdot C_M^{0.5} \cdot (0,453 + 0,4425\cdot C_B - 0,2862\cdot C_M - 0,003467\cdot \frac{B}{T} + 0,3696\cdot C_F) + 2,38\cdot \frac{A_{BT}}{C_B}$$

Todos los datos de la fórmula anterior son conocidos, por lo tanto, sustituyendo tenemos un valor de la superficie mojada igual a:

$$SS = 15490,09 \text{ m}^2$$

Ya calculados estos parámetro pasamos a introducir los valores necesarios al software NavCad para obtener la resistencia al avance del buque proyectado.

Vessel drag		Calc	ITTC-78 (CT)
Technique:		Prediction	
Prediction:		Holtrop	
Reference ship:			
Model LWL:	[m]		
Viscous			
Expansion:		Custom	
Friction line:		ITTC-57	
Hull form factor:	On	1,000	
Speed corr:	On		
Spray drag corr:	Off		
Corr allowance:		0,000000	
Roughness [mm]:	On	0,15	
Catamaran			
Interference:	Off		
Added drag			
Appendage:	Off		
Wind:	Off		
Seas:	Off		
Shallow/channel:	Off		
Towed:	Off		
Margin:	Off		

Type	Task
<input type="checkbox"/>	Right-click to add a task...

Hull	
Configuration:	Monohull
Chine type:	Round/multiple
General	
Length on WL:	277,960 m
Max beam on WL:	6,056 [LWL/BWL]
Max molded draft:	3,967 [BWL/T]
Displacement:	0,751 [CB]
Wetted surface:	2,790 [CS]
Demi-hull spacing:	[S/LWL]
ITTC-78 (CT)	
LCB fwd TR:	0,520 [XCB/LWL]
LCF fwd TR:	0,000 [XCF/LWL]
Max section area:	0,996 [CX]
Waterplane area:	0,833 [CWP]
Bulb section area:	0,018 [ABT/AX]
Bulb ctr below WL:	5,800 m
Bulb nose fwd TR:	287,500 m
Imm transom area:	0,000 [ATR/AX]
Transom beam WL:	0,000 m
Transom immersion:	0,000 m
Half entrance angle:	30,00 deg
Bow shape factor:	1,0 [WL flow]
Stern shape factor:	1,0 [WL flow]
Planing	
Proj chine length:	m
Proj bottom area:	m2
LCF fwd TR:	[XCF/LWL]



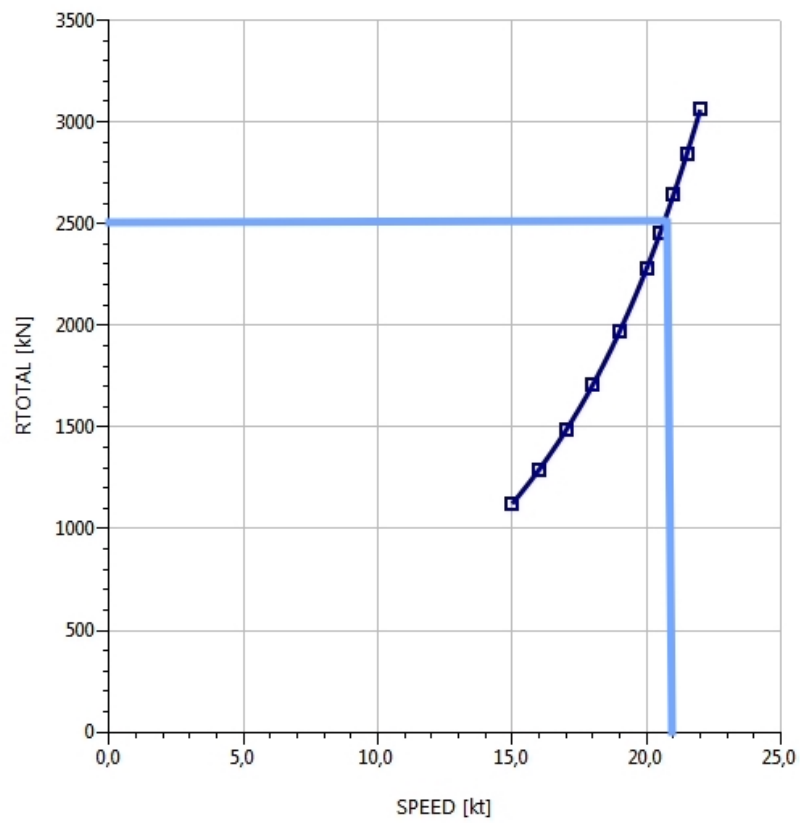
Project		
Project ID:	LNG TANKER	
Description:		
Summary		
Scope:	ITTC-78 (CT)	
Configuration:	Monohull	
Chine type:	Round/multiple	
Length on WL:	277,960	m
Displacement:	113741,00	t
Propulsor type:	Propeller	
Count:	1	
Water properties		
Water type:	Salt	
Density:	1026,00	kg/m ³
Viscosity:	1,18920e-6	m ² /s
Speeds		
Speed [01]	15,00	kt
Speed [02]	16,00	kt
Speed [03]	17,00	kt
Speed [04]	18,00	kt
Speed [05]	19,00	kt
Speed [06]	20,00	kt
Speed [07]	20,50	kt
Speed [08]	21,00	kt
Speed [09]	21,50	kt
Speed [10]	22,00	kt
Design condition		
Design speed:	21,00	kt

Margin		
Design margin:	10	%
Basis:	Hull drag only	

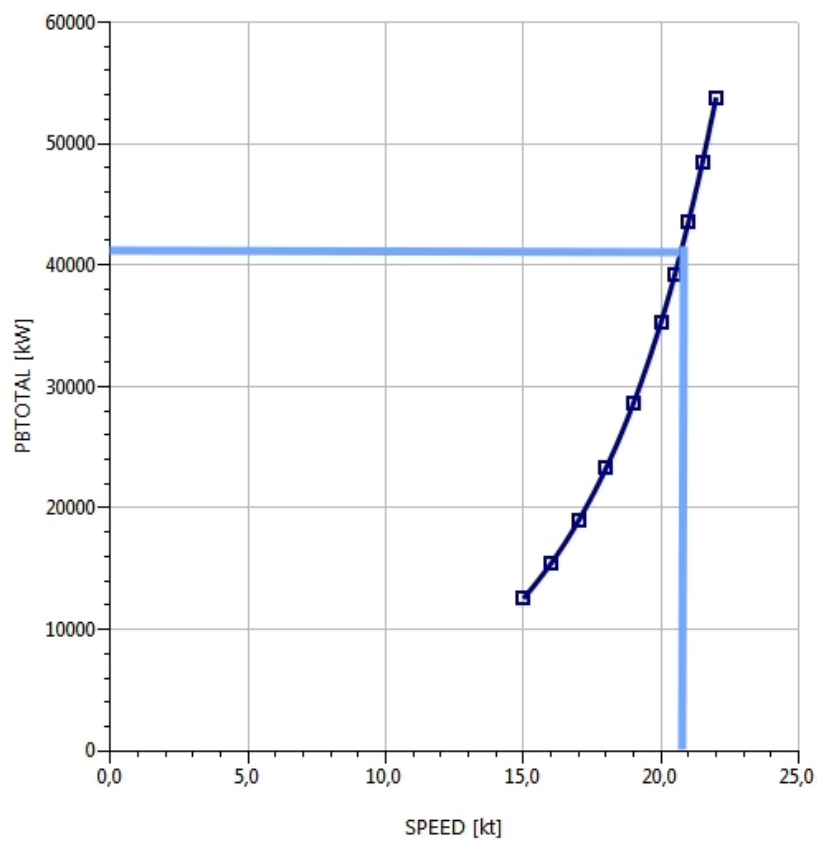
Propulsor		
Count:	1	
Propulsor type:	Propeller series	
Propeller type:	FPP	
Propeller series:	B Series	
Propeller sizing:	By total drag	
Reference prop:		
Blade count:	4	
Expanded area ratio:	0,7519	
Propeller diameter:	8700,0	mm
Propeller mean pitch:	7468,7	mm
Hub immersion:	7000,0	mm
Engine/gear		
Engine data:	None defined	
Rated RPM:		RPM
Rated power:		kW
Gear efficiency:	0,970	
Load correction:	On	
Gear ratio:	0,974	
Shaft efficiency:	0,980	
Propeller options		
Oblique angle corr:	Off	
Shaft angle to WL:	0,00	deg
Added rise of run:	0,00	deg
Propeller cup:	0,0	mm
KTKQ corrections:	Custom	
Scale correction:	None	
KT multiplier:	1,000	

Propeller sizing			
To size			
Gear ratio:	Size	0,974	
Expanded area ratio:	Size	0,752	
Propeller diameter:	Keep	8700,0	mm
Propeller mean pitch:	Size	7468,7	mm
Design condition			
Design speed:		21,00	kt
Reference thrust:		2841,69	kN
Design point:		1,000	
Reference RPM:		84,9	
Design point:		1,030	
Max prop diam:		8700,0	mm
Review			
Tip speed:		40,90	m/s
<div> Size Save report OK Cancel Help </div>			

Con los datos introducidos obtenemos la resistencia al avance del buque proyectado.



Y con esto obtenemos la estimación de potencia.



Para obtener el valor real de la potencia al freno se debe dividir esta entre el régimen del motor.

$$BHP = \frac{BHP'}{MCR} = \frac{43609}{0,9} = 48454,44kW$$

9.1 ELECCIÓN DE LOS MOTORES GENERADORES

Una vez calculado el valor de la potencia necesario para la propulsión del buque se pasa a escoger el grupo de motores generadores, el fabricante escogido ha sido Wärtsilä en su gama de motores trifuel que pueden operar con diésel marino, fuel-oil pesado o gas dependiendo de los requisitos de la operación.

Rated power				
Engine type	Engine kW (50Hz)	Gen. kW (50Hz)	Engine kW (60Hz)	Gen. kW (60Hz)
6L50DF	5700	5500	5850	5650
8L50DF	7600	7330	7800	7530
9L50DF	8550	8250	8775	8470
12V50DF	11400	11000	11700	11290
16V50DF	15200	14670	15600	15050
18V50DF	17100	16500	17550	16940
Generator output based on a generator efficiency of 96.50 %				

Por ser un buque de propulsión eléctrica, los motores generadores generan energía para alimentar la planta eléctrica del buque siendo la propulsión un consumidor más de energía eléctrica. Por lo tanto, se debe tener en cuenta un margen de energía suficiente para alimentar al resto de consumidores eléctricos del buque.

Se decide instalar tres motores 16V50DF y dos 12V50DF.

10 CALCULO DEL FRANCOBORDO

El cálculo del francobordo se realizará siguiendo el "Convenio internacional sobre líneas de carga de 1966 y Protocolo de 1988".

El buque base que se utilizará como referencia en el cálculo del francobordo será el Castillo de Santisteban cuyos planos se adjuntan como anexo junto con el resto de los buques de la base de datos.

Las características principales del buque proyecto son:

Vol (m³)	Δ (t)	Lpp (m)	B (m)	D (m)	T (m)	V (kn)	C_B
170000	113523,92	277,96	45,90	26,77	11,57	21	0,751

Se comentarán únicamente las reglas que son aplicables al buque proyectado.

La baja densidad de la carga, LNG con densidad 0.41 kg/l y 0.5 kg/l, explica que aún en su condición de carga máxima, este tipo de buques presentan un francobordo elevado. Por norma general, este tipo de buques presentan una relación francobordo-puntal aproximada del 50%. Este elevado área lateral explica que el viento deba de ser considerado en la estabilidad transversal.

El francobordo se define como la distancia medida desde la cubierta de francobordo sobre la línea base hasta la línea de carga correspondiente, que corresponderá al calado en la condición de carga en que se encuentre el buque.

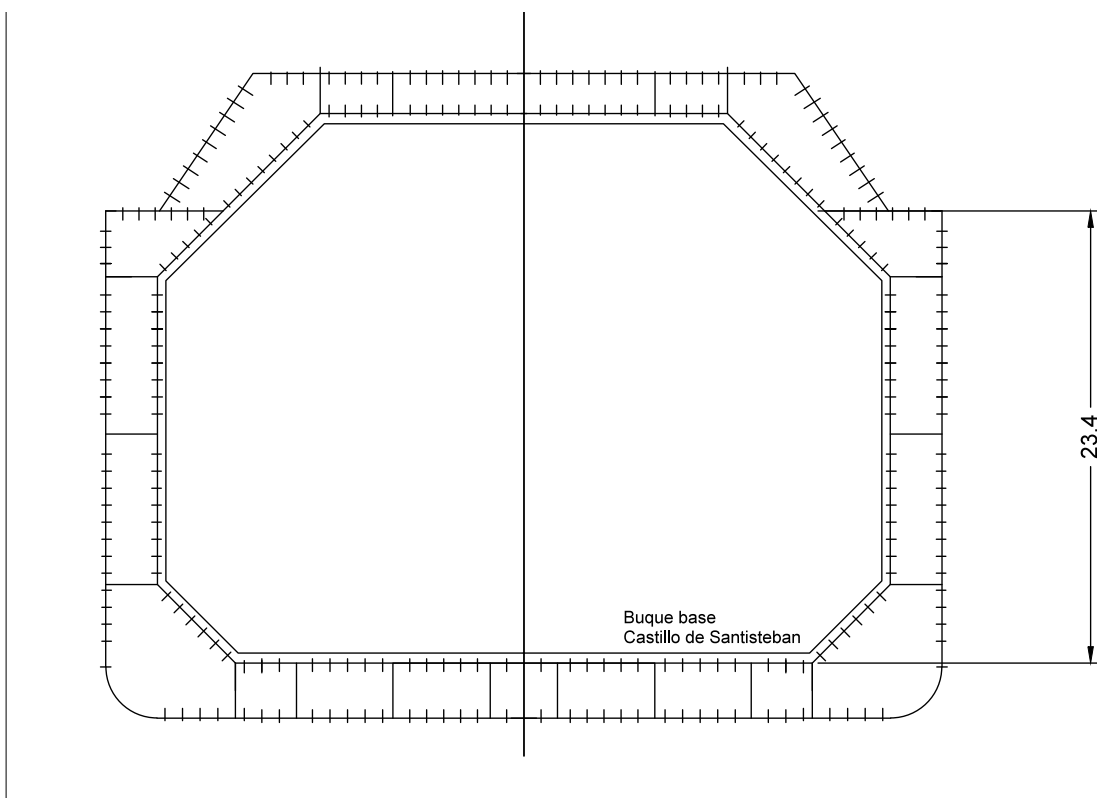
Antes de empezar a calcular el francobordo, se definirán los siguientes términos según el citado convenio.

- Cubierta de francobordo

La cubierta de francobordo será normalmente la cubierta completa más alta expuesta a la intemperie y a la mar, dotada de medios permanentes de cierre en todas las aberturas en la parte expuesta de la misma y bajo la cual todas las aberturas en los costados del buque estén dotas de medios permanentes de cierre estanco. En este buque se corresponde con la cubierta principal, situada a 26770 mm de la línea de base.

- Puntal de trazado

El puntal de trazado será la distancia vertical medida desde el canto alto de la quilla hasta el canto alto del bao de la cubierta de francobordo en el costado.



$$D = 23,4 \text{ m}$$

- Puntal de francobordo

El Puntal de francobordo es el puntal de trazado en el centro del buque más el espesor de la plancha de trancanil de la cubierta de francobordo, que es de 20 mm.

$$D = 23,42 \text{ m}$$

- Eslora de francobordo

Se tomará como eslora de francobordo el 96% de la eslora total en una línea de flotación situada a una distancia de la quilla igual al 85% del puntal mínimo de trazado, medida desde el canto alto de dicha quilla o la eslora desde la cara de proa de la roda hasta el eje de la mecha del timón en dicha flotación, si esta última fuese mayor.

Para obtener la eslora, se calculará un factor de escala basándose en el buque base.

$$85\% D = 19,90 \text{ m} \rightarrow L (85\%T) = 283 \text{ m} \text{ (ANEXO XXX)}$$

$$L_{pp\text{buquebase}} = 288 \text{ m}$$

$$L_{pp\text{buqueproyectado}} = 277,96 \text{ m}$$

$$\text{Factor de escala} = 277,96 / 288 = 0,965$$

$$L_{\text{buquebase}} = 299,90 \text{ m}$$

$$L_{\text{buqueproyectado}} = 299,9 \cdot 0,965 = 289,5 \text{ m}$$

$$L = 289,5 \cdot 0,96 = 277,90 \text{ m}$$

$$L_{\text{francobordo}} = 283 \text{ m}$$

- Manga

La manga será la manga máxima del buque media en el centro del mismo, es decir, en el punto medio de la eslora L, y hasta la línea de trazado de la cuaderna.

$$B = 45,9 \text{ m}$$

-Coeficiente de bloque

El coeficiente de bloque vendrá dado por la siguiente fórmula:

$$C_B = \frac{\Delta}{L \cdot B \cdot d_1} = \frac{194000,52}{283 \cdot 45,9 \cdot 19,9} = 0,7509$$

Se toma d1 como el 85% del puntal mínimo de trazado.

-Francobordo

El francobordo asignado será la distancia medida verticalmente hacia abajo, en el centro del buque, desde el canto alto de la línea de cubierta hasta el canto alto de la línea de carga correspondiente.

R-3. Definiciones de los términos usados en los anexos

Manga	45,9	m
Puntal de trazado	23,4	m
85% Puntal mínimo de trazado	19,89	m
Espesor cubierta de francobordo	20	mm
Puntal de francobordo (D)	23,42	m
Eslora de flotación a 19,89 m de puntal	289,5	m
Eslora entre perp. at 19,89 m de puntal	283	m
Eslora de francobordo (L)	283	m
Volumen sin apéndices a 19,89 m de puntal	194000,52	m ³
Coeficiente de bloque (Cb)	0,7509	



REGLA 27. TIPOS DE BUQUES

Para el cálculo del francobordo los buques se dividirán en dos tipos: “A” y “B”.

Buque de tipo “A” será el que:

- haya sido proyectado para transportar solamente cargas líquidas a granel;
- tenga una gran integridad en la cubierta expuesta y sólo pequeñas aberturas de acceso a los compartimientos de carga, cerradas por tapas de acero u otro material equivalente, estancas y dotadas de frisas; y tenga baja permeabilidad de los espacios de carga llenos.

R-27 Tipo de buques	Applicable
Type of ship (A,B,Br,B60)	A

REGLA 28. TABLAS DE FRANCOBORDO

El francobordo tabular para buques tipo “A” se determinará por medio de la tabla:

Eslera del buque (metros)	Francobordo (milímetros)	Eslera del buque (metros)	Francobordo (milímetros)	Eslera del buque (metros)	Francobordo (milímetros)
240	2946	277	3163	314	3312
241	2953	278	3167	315	3315
242	2959	279	3172	316	3318
243	2966	280	3176	317	3322
244	2973	281	3181	318	3325
245	2979	282	3185	319	3328
246	2986	283	3189	320	3331
247	2993	284	3194	321	3334
248	3000	285	3198	322	3337
249	3006	286	3202	323	3339
250	3012	287	3207	324	3342
251	3018	288	3211	325	3345

R-28 Tabular Freeboard	Applicable
L	freeboard



283	3189	R-28	3189
-----	------	------	------

REGLA 30. CORRECCIÓN POR COEFICIENTE DE BLOQUE

Cuando el coeficiente de bloque (C_b) sea superior a 0,68, el francobordo tabular especificado en la regla 28, después de ser modificado, si procede, por las reglas 28 y 29 se multiplicará por el factor.

$$\frac{C_b + 0,68}{1,36}$$

R-30 Correction for block coefficient			Applicable
R-28	3189		
R-29		Factor	1,0521
freeboard	3189		
		R-30	167

REGLA 31. CORRECCIÓN POR PUNTAL

Cuando D exceda de $L/15$, el francobordo se aumentará en $\left(D - \frac{L}{15}\right) \cdot R$, mm, siendo $R = \frac{L}{0,48}$ para esloras inferiores a 120 metros y 250 para esloras de 120 metros o mayores.

R-31 Correction for depth			Applicable
R	250		
Correction	1139	R-31	1139

REGLA 33. ALTURA NORMAL DE LAS SUPERESTRUCTURAS

La altura normal de una superestructura será la que se indica en la siguiente tabla:

L (metros)	Saltillo	Todas las demás superestructuras
30 ó menos	0,90	1,80
75	1,20	1,80
125 ó más	1,80	2,30



R-33 Standard height of superstructure (in m)		Applicable
<i>Raised quarterdeck</i>	<i>All Other superstructures</i>	
1,8	2,3	

REGLA 35. LONGITUD EFECTIVA DE SUPERESTRUCTURAS

R-34/35 Effective length of superstructure (in m)						Applicable
<i>Superstructure</i>	<i>Length (S)</i>	<i>Sup. br. (b)</i>	<i>Ship br. (Bs)</i>	<i>Height</i>	<i>Effective Length(E)</i>	
Poop	40,000	33,000	45,9	21,000	28,760	

REGLA 36. TRONCOS

R-36 Effective length of trunks (in m)						Applicable
<i>Trunk</i>	<i>Length (S)</i>	<i>Sup. br. (b)</i>	<i>Ship br. (Bs)</i>	<i>Height</i>	<i>Effective Length(E)</i>	
Centre	202,650	38,9	45,9	7,480	171,750	

REGLA 37. REDUCCIÓN POR SUPERESTRUCTURAS Y TRONCOS

R-37 Deduction for superstructures and trunks			Applicable
<i>Length of Superstructure</i>	28,760	m	
<i>Length of Trunks</i>	171,75	m	
<i>Effective Length (E)</i>	171,750	m	
<i>Effective Length (E)</i>	0,6069	*L	
<i>Deduction for 1L</i>	1070	mm	

Table 37.1	
E	%
0,6	52
0,6069	52,8
0,7	63

R-37	-565
-------------	-------------

REGL 38. ARRUF0

El buque no dispone de arrufo sin embargo, se realizará la siguiente corrección.

Standard Sheer Profile					
<i>Station</i>	<i>Ordinate</i>	<i>Factor</i>	<i>Product</i>		
After perpendicular	2608	1	2608		
1/6 L from A.P.	1158	3	3474		
1/3 L from A.P.	292	3	876		
Amidships	0	1	0	After Sheer	6958
Amidships	0	1	0		
1/3 L from A.P.	584	3	1752		
1/6 L from A.P.	2316	3	6948		
Forward perpendicular	5217	1	5217	Forward Sheer	13917

After Sheer variation	-869			
Forward Sheer variation	-1706			
Sheer variation	-1287			
Factor	0,6793	R-38	875	

REGLA 39.1 ALTURA MÍNIMA DE PROA

La altura de proa (F_b), definida como la distancia vertical en la perpendicular de proa entre la línea de flotación correspondiente al francobordo de verano asignado y al asiento proyectado y la parte superior de la cubierta de intemperie en el costado, no será inferior a:

$$F_b = \left[6075 \cdot \left(\frac{L}{100} \right) - 1875 \cdot \left(\frac{L}{100} \right)^2 + 200 \cdot \left(\frac{L}{100} \right)^3 \right] \cdot \left[2,08 + 0,609 \cdot C_B - 1,603 \cdot C_{wf} - 0,0129 \cdot \left(\frac{L}{d_1} \right) \right]$$

Siendo:

- F_b la altura mínima de proa calculada, en mm
- L la eslora definida en la regla 3, en mm
- B la manga de trazado definida en la regla 3, en mm
- d_1 el calado en el 85% del puntal D , en m
- C_B el coeficiente de bloque definido en la regla 3
- C_{wf} el coeficiente del área de la flotación a proa
- A_{wf} el área de la flotación a proa de $L/2$ para el calado d_1 , en m²

R-39.1 Minimum bow height				<i>Applicable</i>
Waterplane area forward of L/2 at draught d1 (Awf)				5847,00 m ²
L	283	d1	19,89	
B	45,9	Cb	0,7509	
		Cwf	0,9003	
Minimum bow height (Fb)				6109 mm
Bow depth corrected for R39				23,4 m
Minimum bow height freeboard				6129 mm
Salt water freeboard				4805 mm

El buque tiene hasta este momento, un francobordo igual a 4805 mm y por ser éste menor a la altura mínima de proa requerida habrá que sumar corrección en esta regla.

$$R-39.1 = 1324 \text{ mm}$$

En la siguiente tabla se muestra un resumen de las correcciones realizadas.

REGLAS	CORRECCIONES
R-28	3189 mm
R-29	mm
R-30	167 mm
R-31	1139 mm
R-32.1	mm
R-37	-565 mm
R-38	875 mm
R-39	1324 mm

$$FB_{\text{verano}} = 3189 + 167 + 1139 - 565 + 875 + 1324 = 6129 \text{ mm}$$

Entonces, el calado de verano es:

$$T_{\text{verano}} = D - FB = 26,77 - 6,129 = 20,641 \text{ m}$$

El calado de escantillonado del buque base para el cual se calcula la resistencia estructural, es de 12,4m, entonces el buque será sancionado por estabilidad.

$$K_{\text{est}} = 20,641 - 12,4 = 8,24 \text{ m}$$

El francobordo de verano real será:

$$FB_{\text{verano}} = FB'_{\text{verano}} + K_{\text{Estabilidad}} = 6,13 + 8,24 = 14,37 \text{ m}$$

Y, por lo tanto, el calado de verano es:

$$T_{\text{verano}} = D - FB_{\text{verano}} = 26,77 - 14,37 = 12,4 \text{ m}$$

REGLA 40. FRANCOBORDOS MÍNIMOS

Francobordo de verano

1) El francobordo mínimo de verano será el francobordo obtenido de las tablas de la regla 28, modificado por las correcciones de las reglas aplicables.

2) El francobordo en agua salada, calculado de acuerdo con el párrafo 1), pero sin la corrección por línea de cubierta que se indica en la regla 32, no será inferior a 50 mm.

Francobordo tropical

3) El francobordo mínimo en la zona tropical será el francobordo obtenido restando del francobordo de verano $\frac{1}{48}$ del calado de verano, medido desde el canto alto de la quilla al centro del anillo de la marca de francobordo.

4) El francobordo en agua salada, calculado de acuerdo con el párrafo 3), pero sin la corrección por línea de cubierta que se indica en la regla 32, no será inferior a 50 mm.

Francobordo de invierno

5) El francobordo mínimo de invierno será el francobordo obtenido añadiendo al francobordo de verano $\frac{1}{48}$ del calado de verano, medido desde el canto alto de la quilla al centro del anillo de la marca de francobordo.



Francobordo de agua dulce

- 7) El francobordo mínimo en agua dulce de densidad igual a la unidad se obtendrá restando del francobordo mínimo en agua salada:

$$\frac{\Delta}{40T} (mm)$$

siendo:

- Δ el desplazamiento en agua salada, en toneladas, en la flotación en carga de verano

- T las toneladas por centímetro de inmersión en agua salada, en la flotación en carga de verano

- 8) Cuando el desplazamiento en la flotación en carga de verano no pueda determinarse con seguridad, la deducción será 1/48 del calado de verano, medido desde el canto alto de la quilla al centro del anillo de la marca de francobordo.

R-40. Francobordos mínimos (mm)	
Francobordo de verano	14370
Calado de verano	12400
Francobordo tropical	14370
Francobordo de invierno	14628
Francobordo de Invierno en el Atlántico Norte	14678



BIBLIOGRAFÍA

1) PROYECTOS DE BUQUES Y ARTEFACTOS

Fernando Junco – EPS – UDC – Ferrol.

2) EL PROYECTO BÁSICO DEL BUQUE MERCANTE

Ricardo Alvariño, Juan J. Aspiroz, Manuel Meizoso – FEIN Madrid.

3) SIGNIFICANTSHIPS

Royal Institute of Naval Architects (RINA)



CUADERNO 1

ANEXOS



ANEXO 1

BASE DE DATOS



ABDELKADER: Tri-fuel DE LNG carrier

Shipbuilder: **Hyundai Heavy Industries Co., Ltd**
Vessel's name: **Abdelkader**
Hull No: **1876**
Owner/operator: **Mitsui OSK Lines (MOL)**
Country: **Japan**
Designer: **Hyundai Heavy Industries Co., Ltd**
Country: **Korea**
Model test establishment used: **Hyundai Maritime Research Institute**
Flag: **Bahamas**
IMO number: **9360922**
Total number of sister ships already completed (excluding ship presented): **1**
Total number of sister ships still on order: **0**

HYUNDAI Heavy Industries Co., Ltd (HHI) delivered the vessel *Abdelkader* to Mitsui OSK Lines (MOL) on 27 February. The vessel is a 177,000m³ tri-fuel diesel electric liquefied natural gas (LNG) carrier, which is capable of serving the majority of the Atlantic terminals.

Abdelkader is equipped with four membrane cargo tanks and is designed and constructed as type 2G ship specified in IGC code, suitable for carrying LNG of which vapour pressures are within the range from atmospheric pressure to 0.25bar g.

The vessel features a continuous deck with trunk/without forecastle and has a bulbous bow, lowered mooring deck, transom stern, open water type stern frame, single propeller driven by two electric motors.

Tank insulation is of GTT Mark III system, which has a 270mm thickness to satisfy the low boil off rate of 0.15% by volume of the total cargo per day. A shore manifold is provided on each of the upper decks between No.2 liquid dome and No.3 vapour dome. A compressor room is arranged in the area in way of No.4 tank.

Cargo discharging is done by eight pumps, two located in each of the tanks that each have a capacity of 1750m³ / hr. The supplementary gas during discharging comes from shore or is produced by an onboard LNG vaporiser to maintain cargo tank pressure. An emergency cargo pump is used when a cargo pump in a tank fails.

One LD compressor and one spray pump is used when the fuel pump is running to supply fuel gas to the engine room under normal sea going conditions. *Abdelkader* has four sets of main tri-fuelled engines, two have 50% reversible synchronous motors (each with a power converter and associated transformers, control and excitation system), including one reduction gear (twin input/single output) with one propulsion shaft propeller. The vessel has a redundancy, so that failure of any motor drive auxiliary system shall not result in the loss of propulsion power.

The propulsion system onboard *Abdelkader* is a tri-fuelled diesel electric, capable of burning fuel gas, such as natural boil off gas forced boil off gas (FBOG) and also marine diesel oil (MDO) and heavy fuel oil (HFO). The power generating plant utilises all available natural boil off gas (NBOG) and makes up required power by burning additional MDO, HFO or FBOG. The main diesel engines are also fitted with exhaust gas economisers as a waste heat recovery system.

A gas combustion unit is fitted for periods when the NBOG cannot be burned in the tri-fuel diesel engines or when NBOG consumption is low and the cargo tank pressure rises. The tri-fuel diesel engines are fully compliant with MARPOL Annex VI regulation 13 and the NOx technical code.

The engine control room and cargo control room contain all facilities to allow for centralised operations of plant and equipment and also allow for unattended operation of the machinery plant under all operational modes.

Abdelkader's cargo control room is located in the accommodation deck, where the centralised control of loading, discharging, ballasting and de-ballasting and constant monitoring of the cargo takes place.

TECHNICAL PARTICULARS

Length oa: 298m
Length bp: 285m
Breadth moulded: 46m
Depth moulded
To main deck: 26.8m
To upper deck: 26.8m
To other decks: 34.6m
Width of double skin
Side: 2.65m
Bottom: 3.3m
Draught
Scantling: 13.0m
Design: 11.9m
Gross: 114,200gt
Deadweight
Design: 87,100dwt
Scantling: 99,700dwt
Speed, service: 19.6knots
Cargo capacity
Liquid volume: 177,400m³
Bunkers
Heavy oil: 6800m³
Diesel oil: 480m³
Water ballast: 65,000m³
Daily fuel consumption (based on HFO)
Main generator engine: 161tonnes/day
Classification society and notations: Bureau Veritas, BV I +HULL, +MACH, Unrestricted navigation, Liquefied gas carrier, +AUT-UMS, +VERISTAR-HULL, SYS-NEQ-1, In water survey, MON-SHAFT
% high tensile steel used in construction: approx. 5%
Main engine
Design: Tri-fuel diesel electric
Model: 2 x 12V50DF 2 x 9L50DF
Manufacturer: Wartsila
Number: 4
Type of fuel used: Fuel gas, HFO or MDO
Output of each engine: 2 x 11,400kW
2 x 8550kW
Total 39,900kW
Gearbox
Make: Renk
Model: NDSH-4000
Number: 1
Output speed: 90.6rpm
Propellers
Material: Ni-Al-Bronze
Designer/manufacturer: Hyundai
Number: 1
Fixed/controllable pitch: Fixed
Diameter: 8.6m
Speed: 90.6rpm
Diesel-driven alternators
Number: 4
Engine make/type: Wartsila
Type of fuel: Fuel gas, HFO or MDO
Output/speed of each set: Total 39,900kW
Alternator make/type: Converteam/ synchronous AC generator

Output/speed of each set: 2 x 11,000kW/514rpm
2 x 8250kW/514rpm

Boilers
Number: 2 x auxiliary boiler 2 x exhaust gas economiser
Type: vertical, cylindrical, automatic controlled marine boiler (aux. boiler) Vertical, forced circulating, smoke tube (exhaust gas economiser)
Make: Kangrim
Output, each boiler: 7500kg/h x 10kg/cm²g saturated steam Exhaust gas 1800kg/h x 10kg/cm²g saturated steam

Other cranes
Number: 2 x manifold service 2 x provision handling 1 x cargo machinery room service
Make: Oriental Precision Co., Ltd
Type: Electro-hydraulic driven
Performance: 5tonnes SWL for manifold and provision handling 6tonnes SWL for cargo machinery room

Mooring equipment
Number: 11
Make: Pusnes
Type: Electro-hydraulic driven

Special lifesaving equipment
Number and capacity: 2
Make: Norsafe
Type: Davit launching type

Cargo tanks
Number: 4
Grades of cargo carried: 1
Stainless steel-structure/piping: SUS 304/SUS 304L

Cargo pumps
Number: 8
Type: Vertical, centrifugal submerged
Make: Ebara
Capacity, each: 1750m³ x 175mlc

Cargo control system
Make: Converteam
Type: AVC

Bow thruster
Make: Kawasaki
Number: 1
Output, each: 2200kW

Bridge control system
Make: Converteam
Type: Electric propulsion system
One-man operation: Yes

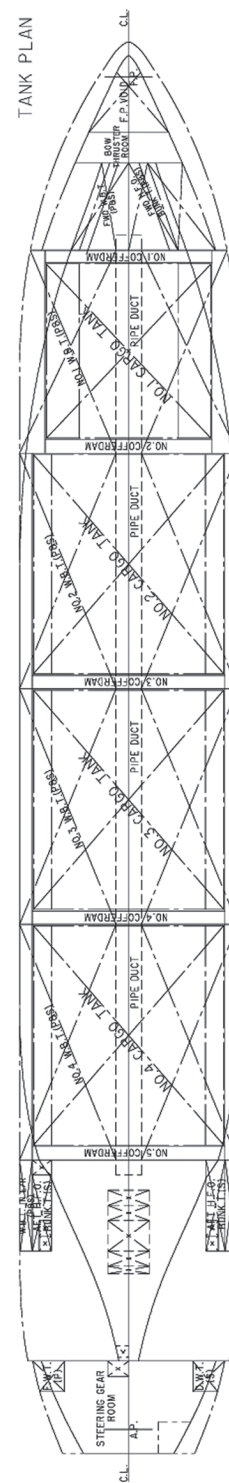
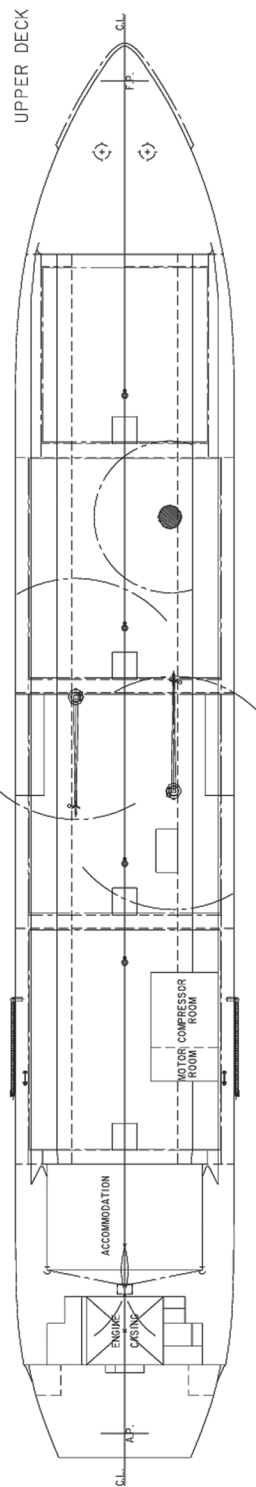
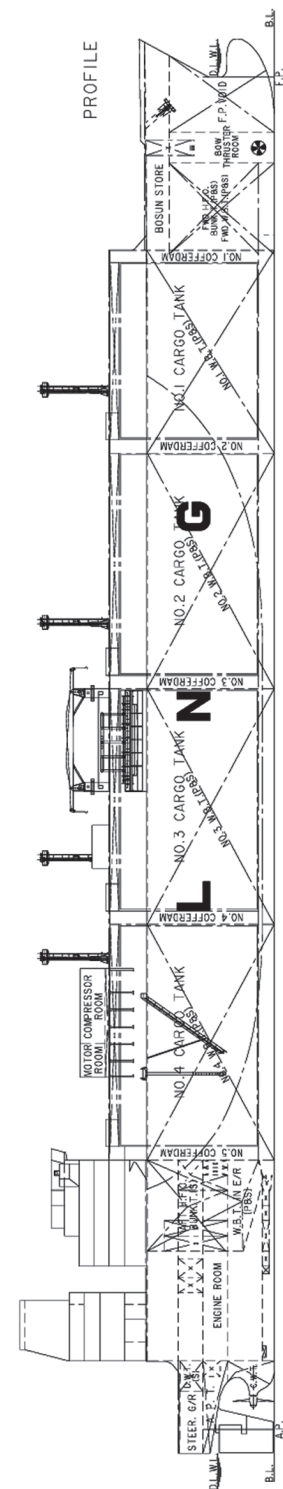
Fire detection system
Make: Consilium
Type: Intelligent addressable type

Fire extinguishing systems
Engine room: NK/High pressure CO₂
Cabins: Sea water + fresh water
Public spaces: Sea water + fresh water

Radars
Number: 3
Make: JRC
Models: LMA-9932-SA JMA-9922-6xA NKE-1087-6

Integrated bridge system
Make: JRC
Model: JAN-901M, JAN-701-CON

Waste disposal plant
Incinerator: Kangrim KFB-73
Sewage plant: Jongjap BIO AEROB-18
Contract date: 06 May 2006
Launch/float-out date: 10 October 2008
Delivery date: 27 February 2010



GAS-Carriers > 75,000 CBM

GAS-Carriers A-K > 75,000 CBM (Part - 1)

British Emerald



(Copyright © Reserved)



(Copyright © Reserved)



(Copyright © Reserved)



(Copyright © Reserved)



(Copyright © Reserved)

Not all data is known yet !!

British Emerald

Type: Gas Carrier
Length: 288 mtr
Beam: 44.2 mtr
Draft: 26 mtr
Speed: 20 knots

The largest vessel that is carrying LNG (Liquid Natural Gas) definitely is one of the most beautiful technical outfit built ever. It is part from the fleet of BP Shipping, but it was built in South Korea in the shipyard of Hyundai Heavy Industries. This ship is the first from the series of diesel-electric gas vessels with dual-fuel (DFDE). It was planned for the shipowner and will give a new movement into LNG carriers.

The vessel is combining a economic and operational factors in some great correlation, which is making this vessel very important and very good for the ship-owner and even for the whole shipping industry. The power system is consisted by main engine, which is giving almost the whole power for the moving of this vessel. The innovations for the power systems are making this vessel unique. The power is well controlled by electric propulsion system, the system Ecobot and some other control systems. All this is building one engine that is giving enough electricity for the whole ship and for the tanks. The heart of the new DFDE is the Ecobot system, which is using LNG gas that evaporates from the tanks during the transportation, to fuel the main power engine. The main engine work pretty good with gas and heavy fuel oil, only depends from the situation. The new DFDE system is nearly 2 - 4% more expensive than the other older one, but it is with more than 10% more effective. The vessel British Emerald is the largest ever built LNG Carrier. The ship can carry 155,000 cubic meters natural gas. Its measurements are 288 mtr length and 44.2 mtr breadth. The depth of British Emerald is 26 mtr. The speed that the vessel use for crossing is 20 knots, and the maximum speed is about 23 knots.

Name: **British Emerald**
IMO No: **9333591**

Built: **06/2007**
Type: **LNG Carrier**
Status: **In Service**
SubType: **LNG liquefied gas tanker, Ship Type 2G, methane (LNG) in membrane tanks,
max. vapour pressure 0.25 bar, min. temp. minus 163 degree C**
Flag: **Island of Man (UK)**
CBM: **155.000**
DWT: -
Draft: -
Builder: **Hyundai Heavy Industries, S. Korea (1777)**
GT: **102,064**
LOA: **-/-**
Owner: **BP Amoco Shipping London - U.K.**
NT: -
Beam: -
Speed/Cons: **19.5/-**
Class: **LR**
Depth: -
Engine Type: **Steam turbines, 54250 SHP**
13582299



CASTILLO DE SANTISTEBAN: STX LNG carrier with extra cargo tank capacity

Shipbuilder: **STX Offshore & Shipbuilding Co., Ltd**
 Vessel name: **Castillo De Santisteban**
 Hull No.: **S3008**
 Owner/Operator: **Empresa Naviera Elcano SA**
 Country: **Spain**
 Designer: **STX Offshore & Shipbuilding Co., Ltd**
 Country: **Korea**
 Model test establishment used: **MOERI/SSPA**
 Flag: **Malta**
 IMO number: **9433717**
 Total number of sister ships already completed (excluding ship presented): **0**
 Total number of sister ships still on order: **0**

STX Offshore & Shipbuilding delivered its Liquefied natural gas (LNG) carrier, *Castillo De Santisteban*, to Empresa Naviera Elcano SA in August. The vessel has the defining feature of having a maximum tank size that is accepted by Gaz Transport & Technigaz (GTT) with a No 93E2 membrane cargo system.

The hull of *Castillo De Santisteban* is divided into four cargo tanks by cofferdams that are built between cargo tanks and consist of five pairs of water ballast tanks in the side and bottom space.

The cargo containment, handling, control and measuring systems are designed and constructed to transport liquefied natural gas in four membrane cargo tanks at about -163°C and at the absolute pressure of 106kPa. The water ballast carried in tanks which are coated in epoxy A/C is handled by three 3300m³ pumps installed on the double bottom in E/R.

The additional Bureau Veritas (BV) class notation SYS-NEQ is assigned to ships which are fitted with a centralised navigation control system so arranged that the navigation and manoeuvring of the ship can be operated under normal conditions by one person, for periodical one man watch. The notation includes specific requirements for prevention of accidents.

The main propulsion consists of main dual-fuel generator engines and propulsion motors with reduction gear driving a single screw propeller through the main shafting.

The propulsion system is a dual fuel diesel electric, capable of burning a combination of natural and forced boil off gas. The power generating plant utilises all available natural boil off gas and makes up the required power by consuming additional forced boil off gas. The electric generators consist of five MAN 8L51/60DF main generators, one turbo generator, which generates electricity using waste heat gas making for a 5% fuel saving and one emergency diesel generator. *Castillo De Santisteban* also has a DF boiler and heel-out operation mode reducing gas waste and increasing the efficiency of the vessel.

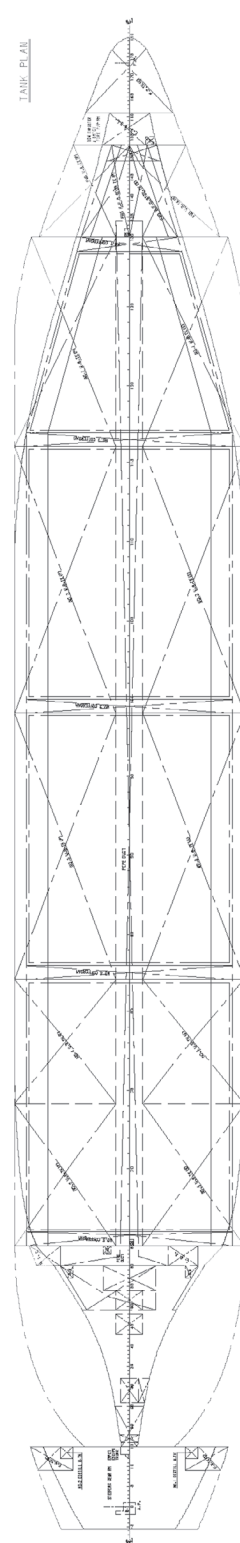
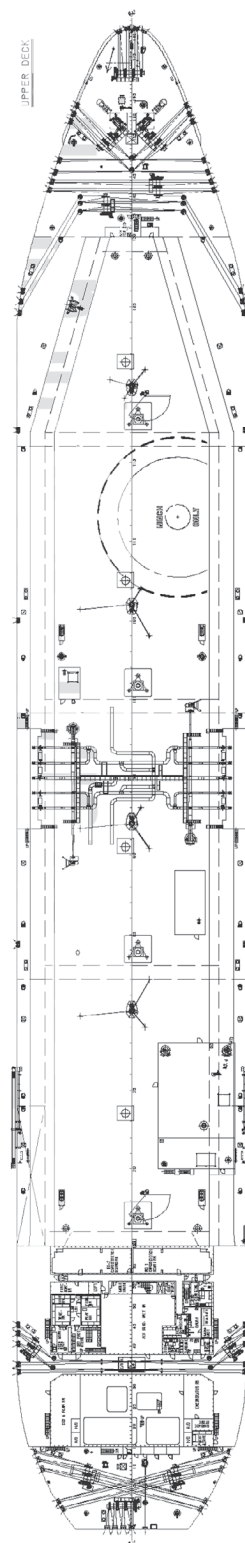
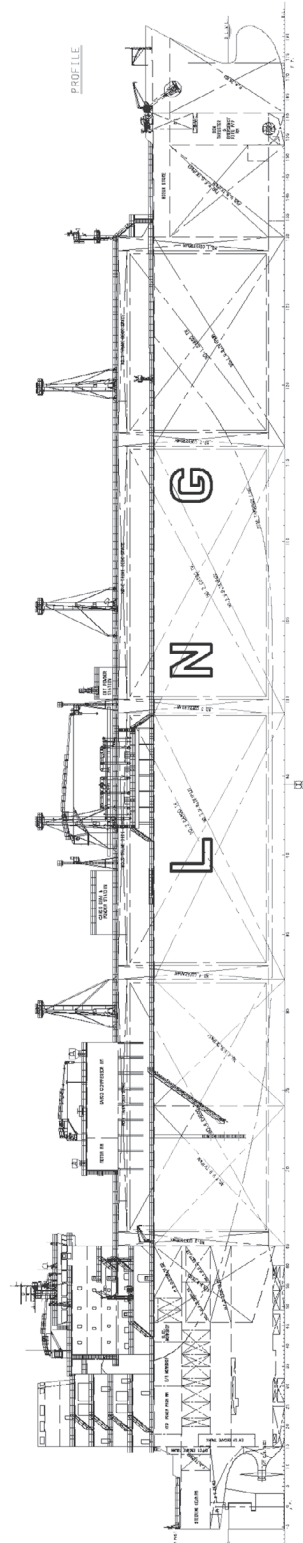
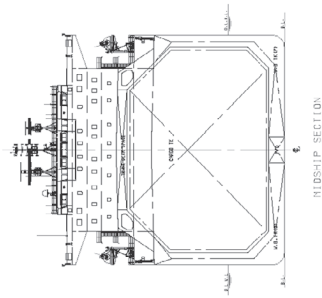
Breadth moulded: 45.80m
 Depth moulded
 To main deck: 26.00m
 To upper deck: 26.00m
 To other decks: 33.55m
 Width of double skin
 Side: 2.39m
 Bottom: 3.20m
 Draught
 Scantling: 12.50m
 Design: 11.60m
 Gross: 111,665gt
 Displacement: 128,987tonnes
 Deadweight
 Design: 83,515dwt
 Scantling: 93,796dwt
 Block co-efficient: 0.7614
 Speed, service: 20.42knots
 Cargo capacity
 Liquid volume: 173,887m³
 Bunkers
 Heavy oil: 5616m³
 Diesel oil: 559m³
 Water ballast: 61,244m³
 Daily fuel consumption
 Main engine only: 0
 Auxiliaries: 143.5tonnes/day
 Classification society and notations: Bureau Veritas
 I +Hull, +Mach, Unrestricted Navigation, Liquefied Gas Carrier, +Veristar-Hull, DFL 40 Years, +AUT-UMS, AUT-CCS, AUT-PORT, SYS-NEQ-1, Inwatersurvey, MON-Shaft
 % high-tensile steel used in construction: less than 10%
 Gearbox
 Make: Kawasaki
 Model: M2H-400/85
 Number: 1
 Output speed: 84.9rpm
 Propellers
 Material: Ni-Al-Bronze
 Designer/Manufacturer: Hyundai Heavy Industries
 Number: 1
 Fixed/Controllable pitch: Fixed pitch
 Diameter: 8700mm
 Speed: 84.9rpm
 Diesel-driven alternators
 Number: 5
 Engine make/type: MAN Diesel/ 8L51/ 60DF
 Type of fuel: BOG, MDO, HFO
 Output/speed of each set: 8000kW x 514rpm
 Alternator make/type: ABB
 Output/speed of each: 7700kW x 514rpm
 Boilers
 Number: 2
 Type: Oil fired + oil fired and gas fired
 Make: Aalborg
 Output, each boiler: 16tonnes x 8.5bar
 8tonnes x 3.5bar
 Cargo cranes/cargo gear
 Number: 2
 Make: Oriental Precision & Engineering
 Type: Electro-hydraulic cylinder luffing, Single jib arm
 Performance: 15tonnes x 25m SWL

Other cranes
 Number: 2
 Make: Oriental Precision & Engineering
 Type: Electro-hydraulic, single jib arm
 Tasks: Provision crane
 Performance: 10tonnes x 10m SWL
 10tonnes x 6m SWL
 Mooring equipment
 Number: 10
 Make: Rolls-Royce
 Type: Hydraulic
 Special lifesaving equipment
 Number of each and capacity: 2 x 48 persons
 Make: Hyundai lifeboat
 Type: Totally enclosed type
 Cargo tanks
 Number: 4
 Product range: Liquefied natural gas
 Coated tanks: Cargo containment system with invar membrane
 Cargo pumps
 Number: 8
 Type: Vertical, submerged
 Make: Shinko
 Stainless steel: AI Alloy casting
 Capacity: 2050m³/h at 160mlc
 Cargo control system
 Make: Kongsberg
 Type: K-Chief 700
 Ballast control system
 Make: Kongsberg
 Type: K-chief 700
 Complement
 Officers: 21
 Crew: 17
 Suez/Repair crew: 6
 Bow thrusters
 Make: Kawasaki Heavy Industries
 Number: 1
 Output: 2000kW
 Bridge control system
 Make: ABB
 Type: OS800
 One-Man operation: Yes
 Fire detection system
 Make: Consilium
 Type: CS4000
 Fire extinguishing systems
 Cargo holds: Wilhelmsen Dry powder, sea water
 Engine room: Wilhelmsen High expansion foam
 Cabins: Samjoo Eng. Galley hood fire fighting system
 Public spaces: NK CO₂ fire extinguishing system
 Radars
 Number: 2
 Make: Furuno
 Model: FAR-2827 (x-Band), FAR-2837S (S-Band)
 Integrated bridge system
 Make: Furuno
 Model: FEA-2107
 Contract date: February 2007
 Launch/float-out date: April 2009
 Delivery: August 2010

TECHNICAL PARTICULARS

Length oa: 199.90m
 Length bp: 288.00m

CASTILLO DE SANTISTEBAN





SERI BALHAF: Mitsubishi's first dual-fuel diesel-electric LNG tanker

Shipbuilder: **Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. Nagasaki Shipyard & Machinery Works, Japan**
 Vessel's name: **Seri Balhaf**
 Hull No: **2223**
 Owner/Operator: **MISC Berhad**
 Country: **Malaysia**
 Designer: **Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.**
 Country: **Japan**
 Model test establishment used: **MHI Nagasaki R&D Center, Japan**
 Flag: **Malaysia**
 IMO number: **9331660**
 Total number of sister ships already completed (excluding ship presented): **Nil**
 Total number of sister ships still on order: **1**

Seri Balhaf is the largest Japanese-built LNG Tanker to feature the Gaz Transport & Technigaz membrane cargo containment system (GTT No.96E 2F) and electric propulsion motors with a Dual Fuel Engine (DFE) system. This results in improved fuel efficiency for the main propulsion system, supplemented by the high propulsive performance achieved by using a refined hull form developed using CFD (Computational Fluid Dynamics).

The principal dimensions of the membrane tanks were optimised taking into account the requirements of LNG terminals world-wide, with particular attention given to major Japanese, Korean and Taiwanese terminals. Cargo tank dimensions were determined to minimise sloshing dynamic loads.

The water ballast tanks adjacent to No.2 & 3 cargo tanks are divided into two pairs to facilitate safe ballast water exchange by the displacement method whilst remaining within the vessel's designed longitudinal strength parameters. The ballast exchange is automated by Mitsubishi Heavy Industries' ABE (Automatic Ballast Exchange) system.

One fuel gas pump of submerged type is provided in each of No.2 & 3 cargo tanks. Where natural boil-off is inadequate for vessel needs forced boil-off gas is supplied using cargo LNG transferred by fuel gas pump or spray pump from cargo tanks.

The propulsion plant consists of two electric propulsion motors and four Wärtsilä dual fuel engines (3 x 12V50DF plus 1 x 6L50DF). These dual fuel engines can run in MDO mode, burning diesel oil only, and in gas mode, burning mainly gas with diesel oil as a pilot fuel. In the gas mode the engines can use forced boil-off gas supplied as described above or natural boil-off gas generated in the cargo tanks. The natural boil-off gas is transferred to the engine room through a low duty gas compressor installed in the cargo machinery room.

The engines are arranged in two separate machinery spaces, each with independent fuel systems, seawater cooling systems, fresh water cooling systems, ventilation systems, and fire detection devices.

Two ABB AMZ 1120MS08 LSF electric propulsion motors drive one propeller through a Renk NDSH-3920 reduction gear. Each electric propulsion motor has independent feeder circuits and is operated individually. A gas combustion unit in the engine casing burns surplus boil-off gas where the amount of natural boil-off gas exceeds vessel requirements.

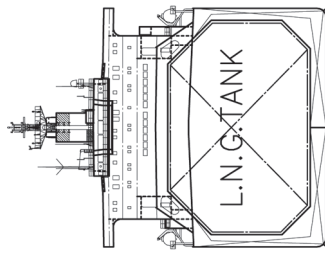
A Mitsubishi Heavy Industries DCS (Distributed control system) is provided to facilitate monitoring and control of the principal machinery and the equipment in the engine and cargo handling areas from the centralised control room.

Seri Balhaf and her sister ship, *Seri Balqis*, have been chartered to lift Yemen LNG cargoes for 20 years, plus further options.

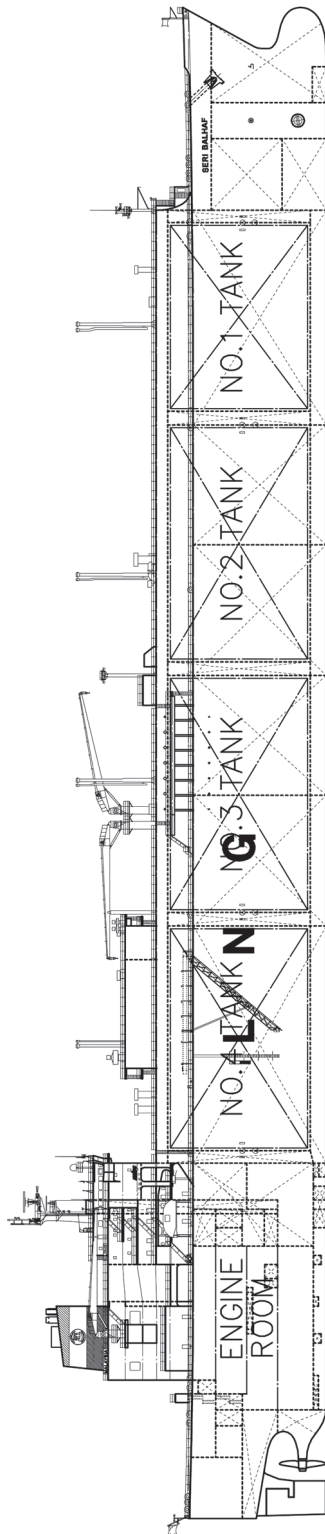
TECHNICAL PARTICULARS

Length oa: 294.6m
 Length bp: 281.6m
 Breadth moulded: 46.5 m
 Depth moulded to upper deck: 25.8 m
 Width of double skin:
 side: 2.36m approx.
 bottom: 3/1m approx.
 Draught:
 scantling: 12.40m
 design: 11.15m
 Gross: 107,633gt
 Deadweight, scantling: 91,201dwt
 Speed, service: 19.5knots at 100% MCR
 Cargo capacity:
 Liquid volume: 157,720m³
 (100% at -163 degrees C)
 Bunkers:
 Diesel oil: 2600m³
 Water ballast: 57,900 m³
 Daily fuel consumption:
 Main engine only: 129tonnes/day
 Classification society and notations: Bureau Veritas I,
 +Hull, +Mach Liquefied Gas Carrier/
 LNG, +Unrestricted navigation, +AUT-UMS,
 +VeriStar-Hull, Mon-Shaft, Inwatersurvey
 Main generator engines:
 Design & manufacturer: Wärtsilä
 Model: 12V50DF and 6L50DF
 Number: 3 x 12V50DF + 1 x 6L50DF
 Type of fuel: MDO and Natural Gas
 Output of each engine: 3 x 11,400kW
 + 1 x 5700kW
 Propulsion Electric Motor:
 Design & manufacturer: ABB
 Number & model: 2 x AMZ 1120MS08 LSF
 Gearbox:
 Make: Renk
 Number & model: 1 x NDSH-3920
 Output: 24,750kW x 78.0rev/min

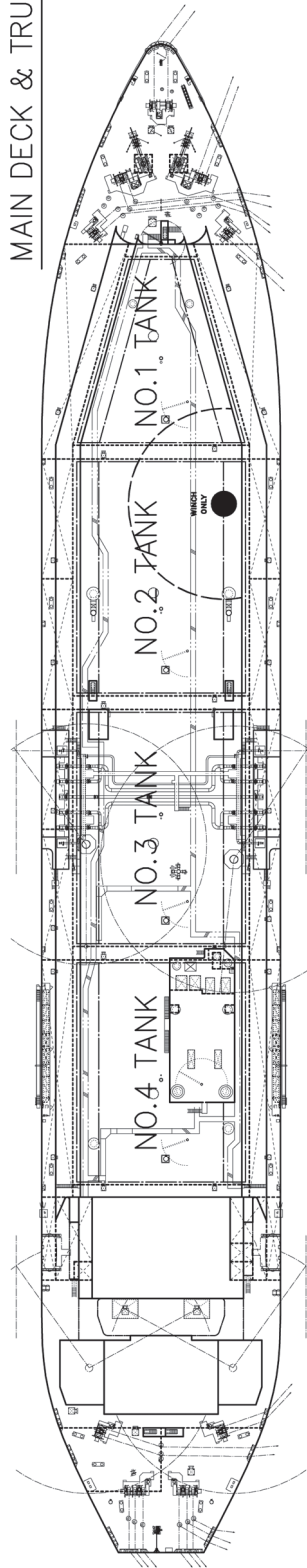
Propeller:
 Material: Nickel aluminum bronze
 Designer/Manufacturer: Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.
 Fixed/Controllable pitch: 1 x Fixed
 Diameter: 9.0m
 Speed: 78.0rev/min
 Exhaust-gas scrubbing equipment:
 Manufacturer: Aalborg Industries K.K.
 Type: Mono-pressure, forced circulation, fin tube type
 Boiler:
 Number & type: 1 x Cylindrical type
 Make: Aalborg Industries K.K.
 Output, each boiler: 9000kg/h
 Mooring equipment
 Number: 2 x mooring winch/windlass,
 7 x Mooring winch
 Make: Friedrich Kocks GmbH
 Type: Electro-hydraulic
 Special lifesaving equipment:
 Number of each and capacity: 2 x 44 persons
 Make: Hyundai Life boats Co., Ltd.
 Type: FRP enclosed type lifeboat
 Cargo tanks:
 Number: 4
 Grades of cargo carried: LNG
 Cargo pumps:
 Number: 8
 Type: Electric motor driven centrifugal submerged
 Make: Ebara Corporation
 Capacity (each): 1850m³/h / 170tonnes/h
 Cargo control system:
 Make: Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.
 Type: Distributed Control System
 Ballast control system:
 Make: Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.
 Type: Automatic Ballast Exchange system
 Complement:
 Officers: 12
 Crew: 19
 Supernumeraries/Spare: 5
 Suez/Repair Crew: 4
 Bow thrusters:
 Make: Kawasaki Heavy Industries, Ltd.
 Number & output: 1 x 2000kW
 Fire detection system:
 Make: Autronica A/S
 Fire extinguishing systems:
 Cargo holds: Dry powder
 Engine room: CO₂
 Radars:
 Number & make: 2 x Japan Radio Co., Ltd.
 Models: 1 x X-band with ARPA,
 1 x S-band with ARPA
 Integrated bridge:
 Make: Japan Radio Co., Ltd.
 Waste disposal plant
 Incinerator: Sunflame Co., Ltd.
 Sewage plant: Taiko Kikai Industries Co., Ltd.
 Contract date: 23 July 2004
 Launch/float-out date: 16 February 2008
 Delivery date: 1 January 2009



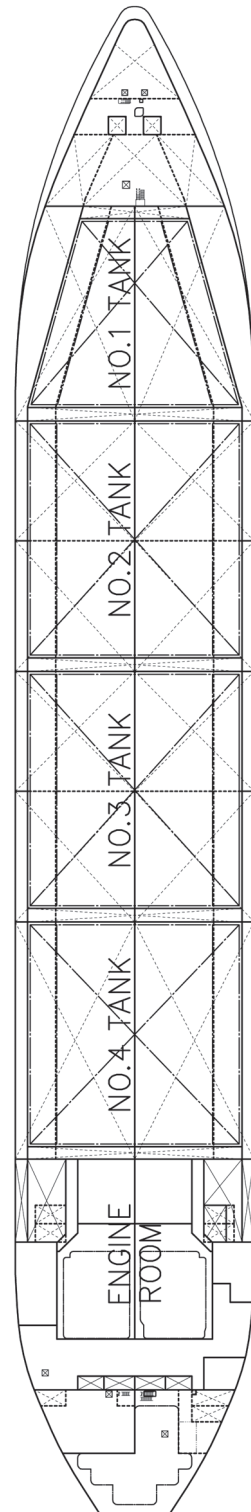
VIEW OF BRIDGE FRONT
& TANK SECTION



MAIN DECK & TRUNK DECK



FOR'D STORE FLAT





BRITISH EMERALD: LNG tanker with dual-fuel/diesel-electric propulsion

Shipbuilder: ...Hyundai Heavy Industries Co Ltd, (HHI), Korea
 Vessel's name: *British Emerald*
 Hull number: 1777
 IMO number: 9333591
 Owner: BP Shipping Ltd, UK
 Designer: Hyundai Heavy Industries Co Ltd, Korea
 Model test establishment used: ..SSPA, Sweden
 Flag: Isle of Man
 Total number of sister ships already completed: Nil
 Total number of sister ships still on order: 5

BRITISH Emerald's reign as the largest LNG carrier in the world, at 155,000m³, was short-lived (as can be seen by other entrants in this year's *Significant Ships*); nevertheless, this lead vessel of BP's new Gem class is of special interest because of its 'green' credentials, and for introducing - for this owner - an innovative propulsion system (the first dual-fuel/diesel LNG tanker was *Gaz de France Energy*, presented in our 2004 review). The use of dual-fuel marine engines is not new, but its combination here in a diesel-electric configuration (DFDE) brings a new dimension into the selection of gas-ship machinery, previously dominated by the steam turbine.

The machinery installation here is centred on four Wärtsilä type 50DF main engines: two 12-cylinder vee-type units and two with nine cylinders in line, of 11,400kW and 8550kW output, which are connected, respectively, to Convertteam alternators producing 11,000kW/8250kW. These are, perhaps uniquely, each positioned directly above the propulsion motors in the two engine rooms included for redundancy purposes, and supply the ship's main electrical requirements, as well as powering two 14,860kW propulsion motors, connected via a Renk twin-input/single-output reduction gearbox to a five-bladed propeller producing a service speed of 20knots.

The main engines can operate on conventional diesel fuel or, on a loaded voyage, on boil-off gas from the cargo which is heated up and delivered as fuel gas by low duty compressors. Comparison between DFDE and similar steam-propelled gas carriers is understood to show that the latter, burning oil and gas, produced 530tonnes of CO₂ and 7tonnes SOx daily, whilst the DFDE vessel, burning only gas, emitted just 386tonnes of CO₂.

British Emerald has a flat, single-deck, with sunken mooring deck aft, and a double-skin hull containing four membrane-type cargo tanks separated by cofferdams, and constructed in accordance with the GTT Mk III containment system for carrying cargoes at cryogenic temperatures of -163°C. Tank insulation is 270mm thick to satisfy a low boil-off rate of 0.15% by volume of total cargo per day. The tanks extend above the upper deck and are enclosed in a trunk which

provides access passages fore and aft.

A shore manifold is arranged P&S between tanks 2 and 3 and a compressor room is situated on the starboard side of the trunk. Cargo is loaded by shore pumps, with unloading handled by having two Ebara 1800m³/h electric, submerged pumps in each tank.

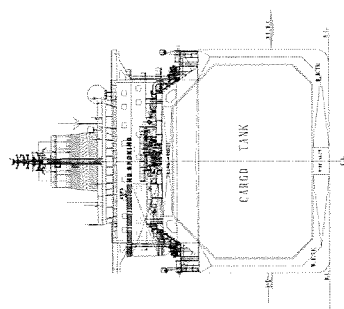
Other features included in the specification are the new technology of 'cold ironing' facilities to allow the vessel to accept shore power whilst in port, and the application of external paint colours proven to reduce solar energy absorption, resulting in less natural heating of cargo and consequently minimising production of boil-off gases.

TECHNICAL PARTICULARS

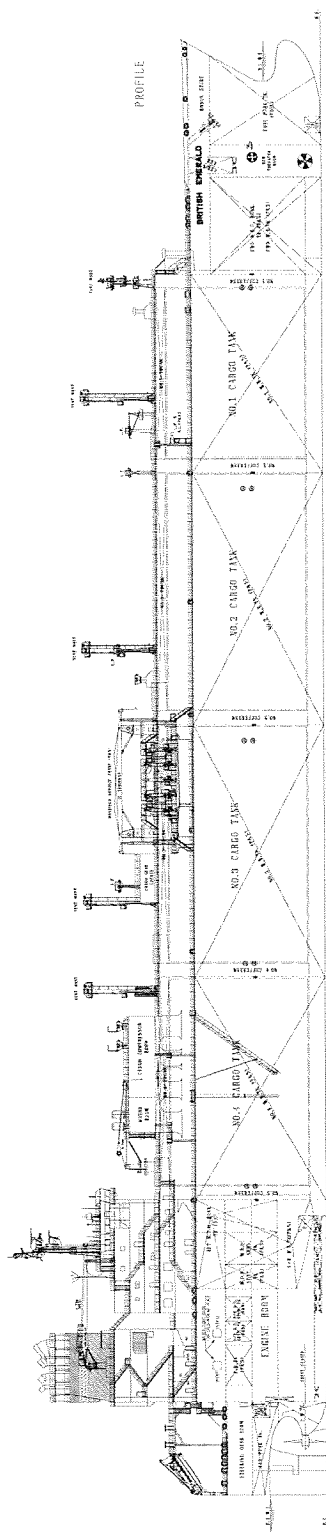
Length, oa	280.00m
Length, bp	275.00m
Breadth, moulded	44.20m
Depth, moulded	
to main deck	26.00m
to trunk deck	33.09m
Width of double skin	
side	2.76m
bottom	3.20m
Draught	
design	11.47m
scantling	12.20m
Gross	102,000gt
Deadweight	
design	76,600dwt
scantling	84,300dwt
Speed, service, MCR with 15% sea margin	20knots
Cargo capacity, liquid volume	155,000m ³
Bunkers	
heavy oil	nil
diesel oil	6600m ³
Water ballast	59,000m ³
Fuel consumption (diesel oil equivalent)	143.3tonnes/day
Classification	Lloyd's Register of Shipping, +100A1 Liquefied Gas Tanker, Ship Type 2G, SG 0.5, 0.25bar g, -163°C, *IWS ShipRight(SDA), L1, EP, +LMC, UMS, ICC, NAV
Percentage of high tensile steel used in construction	approx 2%
Dual fuel diesel electric (DFDE) power system	
Main engines	
Design	Wärtsilä
Number/models	2 x 12V50DF/2 x 9L50DF
Manufacturer	Wärtsilä
Type of fuel used	Boil-off gas/MDO
Output, each engine	2 x 11,400kW/2 x 8550kW
Alternators	
Number	4
Make	Convertteam
Output, each unit	2 x 11,000kW/2 x 8250kW
Propulsion motors	
Number	2
Make	Convertteam
Output, each unit	2 x 14,860kW

Frequency converters	
Number/type	2/synchronous
Make	Convertteam
Gearbox	
Make	Renk
Number	1
Model	NDSH-4000 (twin input/single output)
Output speed	720 rev/min (input)/90.6rev/min (output)
Propeller	
Material	Nickel-aluminium-bronze
Designer/Manufacturer	Hyundai
Number	1
Pitch	Fixed
Diameter	8600mm
Speed	90.6rev/min
Boiler	
Number	1
Make	KangRim Heavy Industries
Output	15,000kg/h
Cargo tanks	
Number	4
Grades of cargo carried	LNG
Cargo pumps	
Number	8
Type	Vertical, submerged, centrifugal
Make	Ebara
Material	Stainless steel
Capacity	8 x 1800m ³ /h
Ballast/cargo control systems	
Make	Convertteam
Type	Integrated automation system
Complement	
Officers	22
Crew	11
Suez/repair crew	6
Bow thruster	
Number	1
Make	Brunvoll
Output	2000kW
Bridge control system	
Make	Furuno
One man operation	Yes
Fire detection system	
Make/type	Consilium CS 3000
Fire extinguishing systems	
Cargo area	Unitor/dry powder
Engine room	Unitor/high-pressure CO ₂
Radars	
Number/make	2 x Furuno
Models	FAR-2837SW/ FAR-2827W
Incinerator	
Make/type	Hyundai/MAXI 150SL-1 WS
Sewage plant	
Make/type	Jonghap/BIO AEROB-25
Contract date	April 2004
Launch/float-out date	July 2006
Delivery date	5 July 2007

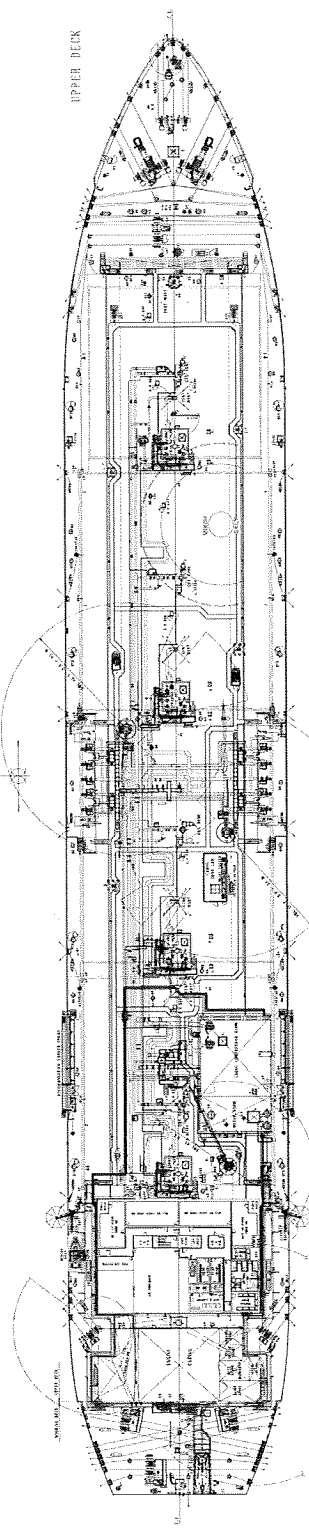
BRITISH EMERALD



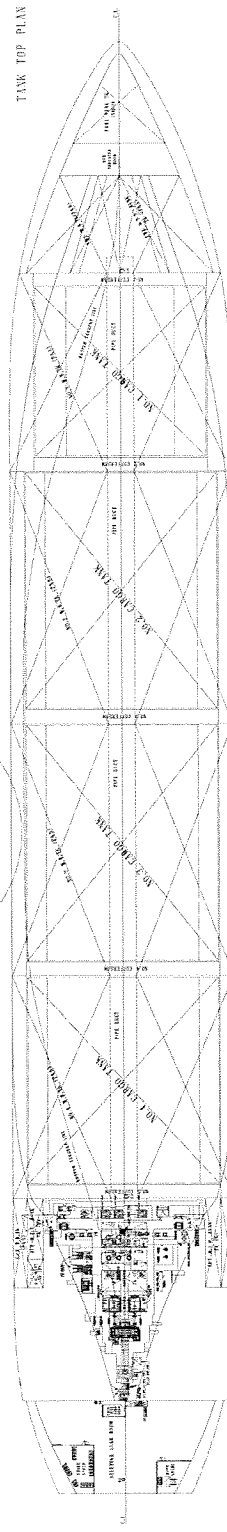
MIDSHIP SECTION



PROFILE



UPPER DECK



TANK TOP PLAN



GDF Suez Point Fortin: 154,900m³ type LNG carrier from Japan

Shipbuilder: **Koyo Dockyard co., Ltd.**
Of Imabari Group
Vessels name: **GDF Suez Point Fortin**
Hull No: **2263**
Owner/operator: **Los Halillos Shipping co., SA**
Country: **Panama**
Model test establishment used: **Shipbuilding research centre of Japan**
Flag: **Panama**
IMO number: **9375721**
Total number of sister ships already completed (excluding ships presented): **2**
Total number of sister ships still on order: **0**

IMABARI has opened up further avenues for the group to expand into with the delivery of *GDF Suez Point Fortin*. The vessel was delivered to its owner GDF Suez on 16 February. The vessel is owned by a consortium led by Mitsui OSK Lines and will be operated by Los Halillos Shipping.

GDF Suez Point Fortin's main feature is that its No 1 tank is of a horizontally trapezoid shape, making it the first of its kind, in order to use maximum tank capacity despite the compact hull to ensure longitudinal hull structure. It is one of only three vessels with this type of tank capacity.

The hull structure of the vessel was designed and developed under Lloyd's Register's (LR) notation ShipRight (SDA, FdAplus, CM). SDA and FdAplus analysis was carried out in close cooperation with LR London. *GDF Suez Point Fortin* has been designed with a fatigue life set at 40 years.

Reinforced Polyurethane foam (R-PUF) has been used as thermal insulation for the cargo tanks and cargo piping. Formerly, Hydro-Chloro-Fluoro-Carbon (HCFC) was employed as a gas in micro bubbles of R-PUF. In comparison the HCFC, ODP and GWP has less CO₂ than the old method. Imabari has used a new material onboard *GDF Suez Point Fortin* that has been developed from a Japanese manufacturer that still uses the micro bubble technology with CO₂ that still keeps the same thermal conductivity as the previous material.

GDF Suez Point Fortin is 289.93m in length overall, 44.70m wide and has a 26m depth with a design draught of 11.73m and a deadweight of 72,354dwt. It is powered by a Kawasaki UA – 400 type cross compound impulse steam turbine with double reduction gear that can run on either heavy fuel oil (HFO) or liquefied natural gas (LNG) and is capable of 19.5knots at 80.4MCR.

TECHNICAL PARTICULARS

Length oa: 289.93m
Length bp: 276.00m
Breadth moulded: 44.70m
Depth moulded
To main deck: 26.00m
To upper deck: 26.00m
To other decks: 33.12m (trunk deck)
Width of double skin:
Side: 2.51m

Bottom: 3.20m
Draught:
Scantling: 12.60m
Design: 11.73m
Gross: 101,129gt
Deadweight:
Design: 72,354dwt
Scantling: 85,547dwt
Speed, service: 19.5knots (80.4%MCR output)
Cargo capacity:
Liquid volume: 154,913m³
Bunkers:
Heavy oil: 6460m³
Diesel oil: 700m³
Water ballast: 53,690m³
Daily fuel consumption: 163.4tonnes/day
Classification society and notations: LR + 100A1, Liquefied Gas Tanker, Ship Type 2G, Methane(LNG) in membrane tanks, Maximum vapour pressure 0.25bar, Minimum temperature -163°C, ShipRight(SDA,FDA plus, CM), *IWS, L1, +LMC, UMS, NAV1, IBS, ICC
Main engines
Design: Kawasaki Heavy Industries Ltd.
Model: Kawasaki UA – 400 type cross compound impulse steam turbine with double reduction gear
Manufacturer: Kawasaki Heavy Industries Ltd.
Number: 1 set
Type of fuel: HFO and/or LNG
Output of each engine: MCR 29,420kW x 81rpm
NCR 26,480kW x 78.2rpm

Gearboxes
Make: Kawasaki Heavy Industries Ltd.
(Reduction gear is included in main turbine set.)
Model: UA420/80 – S (tandem articulated, double reduction gear)

Propeller
Material: Ni-Al-Bronze
Designer/manufacturer: Mitsubishi Heavy Industries Ltd.
Number: 1 set
Fixed/Controllable pitch: Fixed type

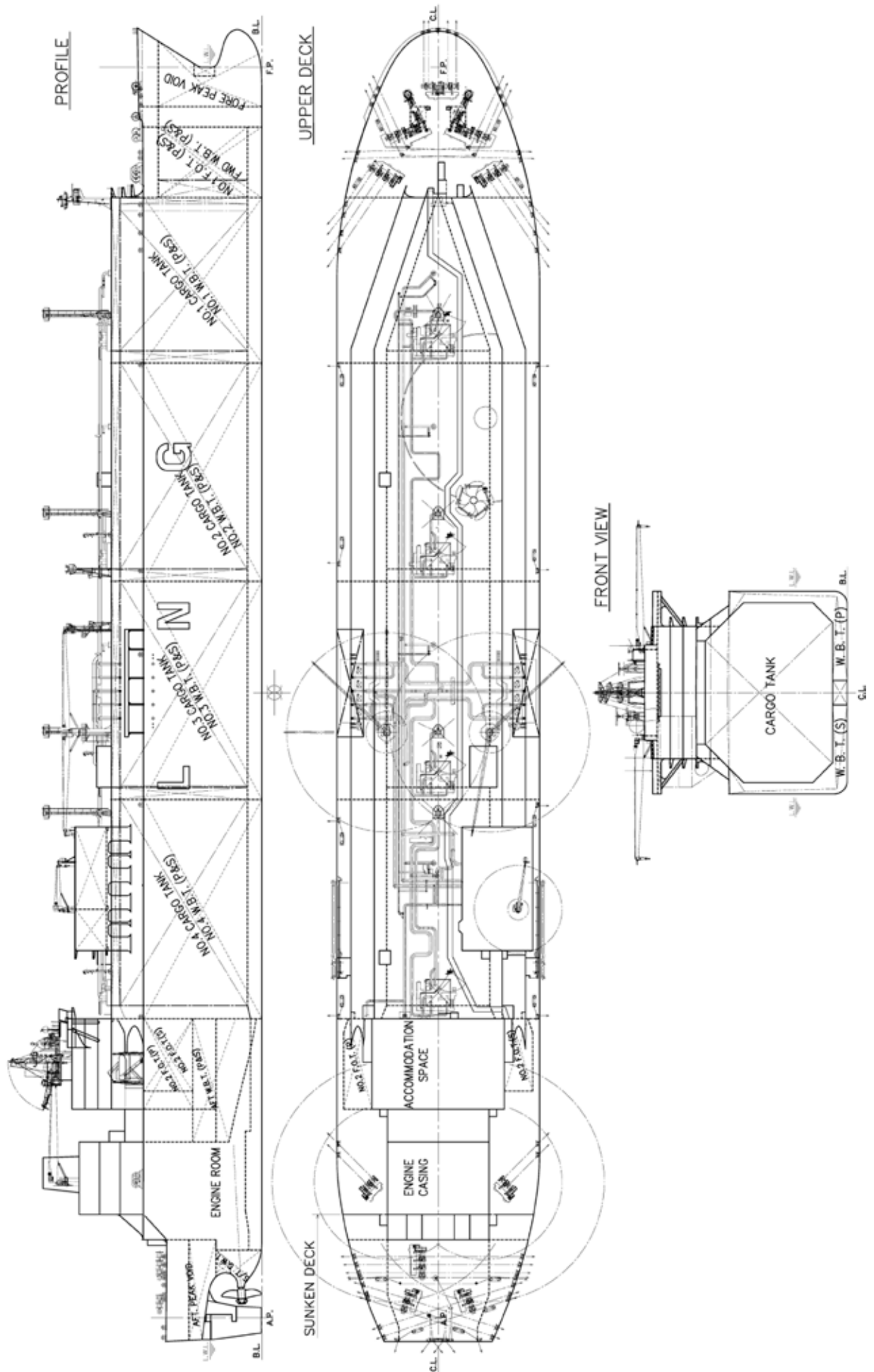
Diesel-driven alternators
Number: 1 set
Engine make/type: Yanmar co., Ltd./ 4 – cycle diesel engine
Type of fuel: Diesel oil or Marine gas oil
Output/speed of each set: 3604kW/720rpm
Alternator make/type: Nishishiba electric co., Ltd/ Totally enclosed, brushless
Output/speed of each set: 3250kW/720rpm

Steam turbine-driven alternators
Turbine make/type: Shinko Industries Ltd/ Super heated stem driven, multi stage condensing
Output/speed of each set: 3250kW/8145kW
Alternator make/type: Nishishiba electric co. Ltd/ Totally enclosed brushless
Output/speed of each set: 3250kW x 1800rpm

Boilers
Number: 2 sets
Type: Kawasaki UME 66/53
Make: Kawasaki Heavy Industries Ltd
Output each boiler: Max evaporation 66,000kg/h

Other cranes
Number: 2 sets
Make: Sekigahara Seisakusho Ltd
Type: Electro-hydraulic high-pressure
Tasks: Hose handling
Performance: Hoisting load 3tonnes/ working radius 22m~4.6m

Mooring equipment
Number: Windlass 2 sets/ Mooring winch 8 sets
Make: Fukushima Ltd
Type: Electro-hydraulic Low-pressure
Special lifesaving equipment
Number of each and capacity: 2 sets x 50 persons
Make: Ernst Hatecke
Type: Enclosed
Cargo tanks
Number: 4 tanks (membrane type)
Grades of cargo carried: Liquefied natural gas
Product range: Max. specific gravity 0.5 at -163°C
Stainless steel – structure/piping: Stainless steel (304L)
Cargo pumps
Number: 8 sets
Type: Vertical submerged
Make: Shinko Industries Ltd
Stainless steel: Ball bearing
Capacity: 1700m³ x 160m
Cargo control system
Make: Yokogawa Electric Corp.
Type: Integrated automation system
Ballast control system
Make: Yokogawa Electric Corp.
Type: Integrated automation system
Complement
Officers: 13
Crew: 16
Suez/Repair crew: 6
Bow thrusters
Make: Kawasaki Heavy Industries Ltd
Number: 1 set
Output: 2200kW
Bridge control system
Make: Japan Radio co., Ltd.
Type: Integrated navigation system
One-man operation: Yes
Fire detection system
Make: Nippon Hakuyo
Type: FF – 1515 – 4
Fire extinguishing system
On deck: Dry chemical powder fire extinguishing system
Make/Type: Unitor
Engine room: High expansion foam fire extinguishing system
Make/Type: Kashiwa-teck
Cabins: Seawater
Public spaces: Seawater
Radars
Number: 3 sets (X-Band:2 S-Band:1)
Make: Japan Radio Co., Ltd
Model: JMA – 9122 – 9XA, NKE – 1125 – 9, JMA – 9132 – SA
Waste disposal plant
Incinerator: Sunflame co., Ltd
Model: OSV-600SDAI
Waste compactor: Electrolux professional AB
Model: 41 80 10 (TT100)
Sewage plant: Taiko Kikai Industries co., Ltd
Contract date: 21 November 2005
Launch/float-out date: 12 August 2008
Delivery date: 16 February 2010





STX KOLT: Hanjin delivers its second LNG tanker to STX ship operating arm

Shipbuilder: **Hanjin Heavy Industries & Construction Co Ltd, Korea**
 Vessel's name: **STX Kolt**
 Hull number: **N-192**
 IMO number: **9372963**
 Owner/operator: **KL75 International SA (KOGAS), Korea/STX Pan Ocean Co Ltd, Korea**
 Designer: **Hanjin Heavy Industries & Construction Co Ltd, Korea**
 Model test establishment used: **SSPA, Sweden**
 Flag: **Panama**
 Total number of sister ships already completed: **-**
 Total number of sister ships still on order: **1**

TWO important Korean industrial groups have come together to produce this LNG tanker for operation on behalf of Korean energy supplier KOGAS – the energetic and ambitious STX shipping, shipbuilding and engineering concern, and leading shipbuilder, Hanjin. It is STX's substantial shipping arm which took operating delivery of the 153,000m³ STX Kolt in December from Hanjin, another builder seeking to expand its interests by opening facilities in the Philippines (see *Argolis*), and recently seeking to take advantage of an upturn in the LNG tanker market.

This is only the second LNG tanker completed by Hanjin's city yard in the centre of Busan, following the smaller *Hanjin Pyeong Taek* (presented in *Significant Ships of 1995*), and the design follows the now established layout of a membrane-type ship, presenting a double skin hull within which there are four cargo tanks, separated from each other by cofferdams, and extending above the upper deck to form a fore and aft trunk. Top and bottom wing tanks are arranged and serve as water ballast spaces. They also provide supports for the cargo tanks, which have been constructed to the GTT Mk III containment system (a change from the Gaz Transport NO96-2 technology on the earlier vessel). Tanks are insulated to satisfy the requirements of a daily boil-off rate of 0.15% by volume of total cargo, part of which is used as fuel.

Despite the recent move towards diesel propulsion for this type of vessel, Hanjin Shipbuilding has remained faithful to the steam turbine for *STX Kolt*, fitting a well tested Kawasaki UA-400 cross-compound, direct reversible, impulse-type unit, developing 29,200kW (39,800shp), to drive a 6500mm fixed pitch propeller via a tandem articulated gearbox. It is however, significant to record that the sister ship will feature a dual fuel diesel-electric propulsion plant.

Two steam-turbine driven alternators, also one powered by a diesel engine, supply electrical requirements, and two main 68,000kg/h boilers are installed. Kawasaki has also supplied a 2100kW bow thruster. Cargo handling is carried out by eight sets of Shinko 1800m³/h, electric submersible pumps, with

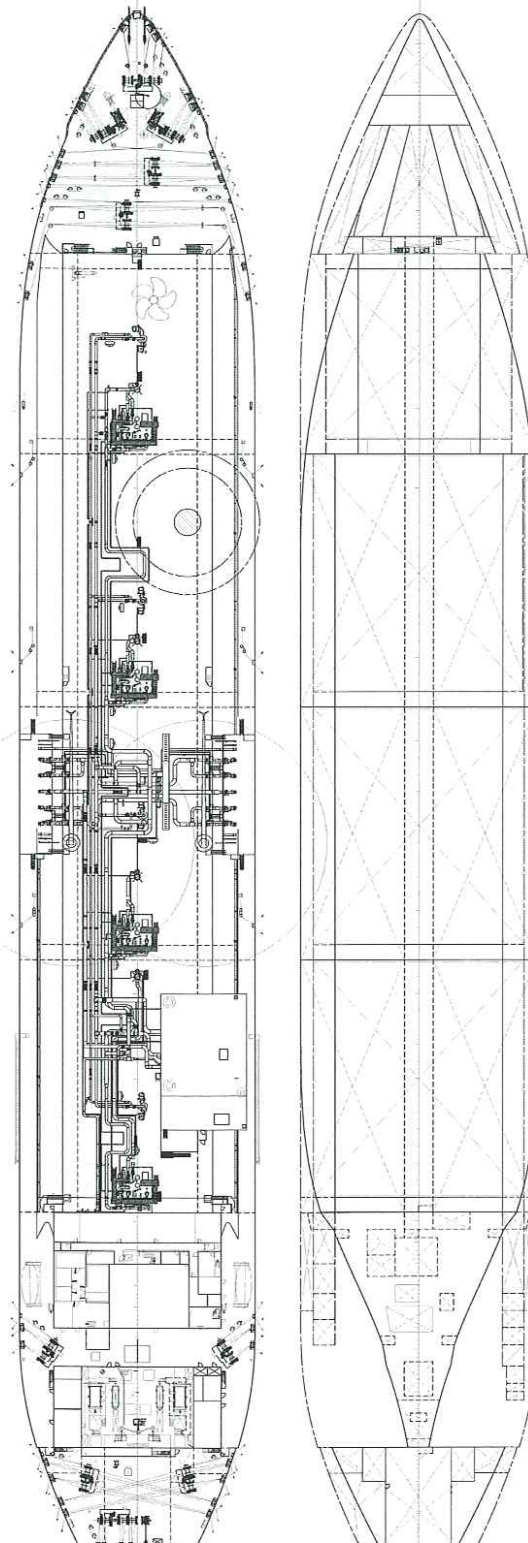
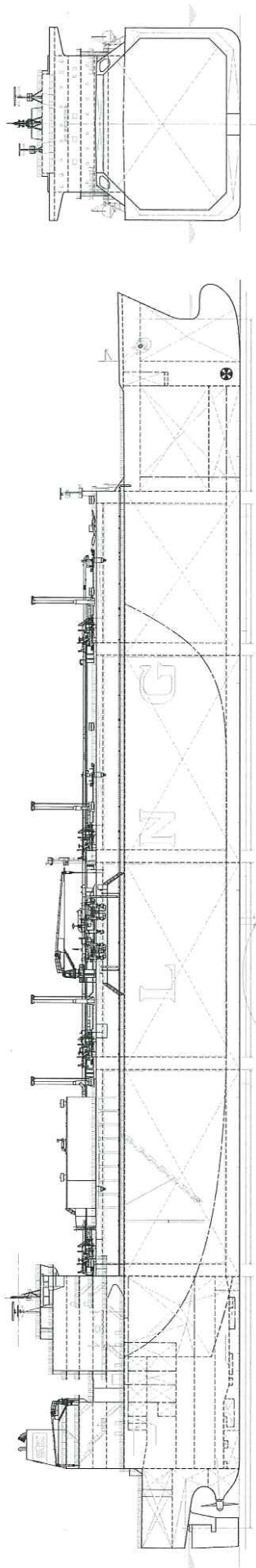
four spray/stripping pumps and an emergency unit also supplied.

Features of the design are that the vessel is fully equipped for, and has ship-shore compatibility with, ports in Korea, Singapore, Japan, Yemen, Qatar and Oman. It also has an air draught (50.40m) which allows navigation to the US terminal at Lake Charles.

TECHNICAL PARTICULARS

Length, oa 288.60m
 Length, bp 276.00m
 Breadth, moulded 44.00m
 Depth, moulded 26.20m
 to main deck 21.92m
 to upper deck 26.20m
 Width of double skin
 side 2.337m
 bottom 3.10m
 Draught
 design 11.50m
 scantling 12.50m
 Gross 100,189gt
 Displacement 116,600tonnes
 Lightweight approx 30,600tonnes
 Deadweight
 design approx 77,200dwt
 scantling approx 86,600dwt
 Block coefficient 0.754
 Speed, service at MCR, design draught,
 21% sea margin 20.30knots
 Cargo capacity approx 153,000m³
 Bunkers
 heavy oil 7170m³
 diesel oil 417m³
 Water ballast 55,399m³
 Fuel consumption
 main boilers 220tonnes/day
 auxiliaries 19tonnes/day
 Classification Det Norske Veritas +1A1,
 Tanker for Liquefied Gas, Ship Type 2G
 (-163°C, 500jg/m³, 0.25 bar g), NAUTICUS
 (Newbuilding), EO, BIS, NAUT-OC, TMON, CLEAN,
 also Korean Register of Shipping +KRS1,
 Liquefied Gas Carrier/2G 3M(R)/0.25bar g,
 -163°C, 0.5SG, (IGC, IWS), SeaTrust (FSA2, (HCM),
 +KRM1, STCM, UMA3, NBS2 IGS
 Percentage of high-tensile steel
 used in construction 9.0%
 Main engine
 Design direct reversible steam turbine
 Manufacturer Kawasaki Heavy Industries
 Model UA-400
 Number 1
 Output 29,290kW (39,800shp)
 Main boilers
 Number 2
 Type MB-4E-KS
 Make Mitsubishi Heavy Industries
 Output 2 x 68tonnes/h
 Gearbox
 Make Kawasaki Heavy Industries
 Model Tandem articulated double reduction

Number 1
 Output speed 90rev/min
 Propeller
 Material Nickel-aluminium-bronze
 Designer/manufacturer Hanjin/Mecklenburger Metallguss (MMG)
 Number 1
 Pitch Fixed
 Diameter 8500mm
 Speed 90rev/min
 Steam-turbine driven alternators
 Number 2
 Make/type -
 Output -
 Diesel-driven alternator
 Number 1
 Engine make/type STX-MAN/8L32/40
 Type of fuel used MDO
 Output 3835kW/720rev/min
 Alternator make/type Hyundai/HSJ 809-16E
 Output/speed 3500kW/720rev/min
 Mooring equipment
 Number 2 x mooring winch/windlass;
 8 x mooring winch
 Make Rolls-Royce
 Type Low pressure hydraulic
 Cargo tanks
 Number 4
 Grades of cargo carried LNG
 Cargo pumps
 Type Electric submersible
 Make Shinko
 Number 8
 Capacity 8 x 2800m³/h
 Ballast/cargo control systems
 Make Honeywell
 Type Experion PKS
 Complement
 Officers 23
 Crew 17
 Suez Canal crew 6
 Bow thruster
 Number 1
 Make Kawasaki
 Output 2100kW
 Bridge control system
 Make Nabtesco
 Type M800III
 One man operation yes
 Fire detection system
 Make Autronica
 Type Autosave
 Fire extinguishing system
 Engine room NK fixed CO₂ system
 Integrated bridge system
 Make JRC
 Model JAN901M-EOR
 Sewage plant
 Make/type G&O/40 BG-G
 Contract date 30 March 2006
 Launch/float-out date 27 February 2008
 Delivery date 27 December 2008





MAERSK QATAR: 145,600m³ LNG carrier for RasGas project

Shipbuilder: Samsung Heavy Industries Co Ltd, Korea
 Vessel's name: **Maersk Qatar**
 Hull number: **1562**
 IMO number: **9321732**
 Owner/operator: **AP Möller-Maersk Group, Denmark**
 Designer: **Samsung Heavy Industries Co Ltd, Korea**
 Model test establishment used: **Samsung Ship Model Basin, Korea**
 Flag: **Danish International Shipping Register**
 Total number of sister ships already completed: **11 (different owners)**
 Total number of sister ships still on order: **7**

THE diversity of the Möller-Maersk Group is difficult to measure, but some idea of its extent is demonstrated in this edition of *Significant Ships* where four of this leading owner's newbuildings are featured, including the largest container ship in the world, together with this vessel - one of the largest LNG tankers in service, alongside two 'baby-size' box ships. Equally, Samsung can point to its own varied output, and a rise to becoming a world leader in LNG carrier design in just seven years since delivering the first ship of this type.

Maersk Qatar is a development of Samsung's standard design, which conforms closely to what has become an industry 'norm', offering around 140,000m³ capacity. In fact, *Maersk Qatar*, with some slight 'tweaking' of length and beam over earlier ships, will load nearly 6000m³ more than that, in its operations on the RasGas project.

The design features a double-skin hull with side spaces joined with top and bottom wing tanks arranged to carry water ballast. These enclose four individual cargo tanks, separated by cofferdams, and constructed in accordance with the Gaz Transport and Technigas (GTT) Mk 3 containment system for the carriage of LNG cargoes at cryogenic temperatures (-163°C).

These tanks extend above the upper deck and are enclosed in a trunk which also provides access passages forward and aft. The containment system, which is designed to limit the daily boil-off rate to 0.15% cargo volume, is complemented by three Ebara 1700m³/h electric submersible pumps, capable of discharging cargo in 12 hours, following pre-cooling by LNG spray.

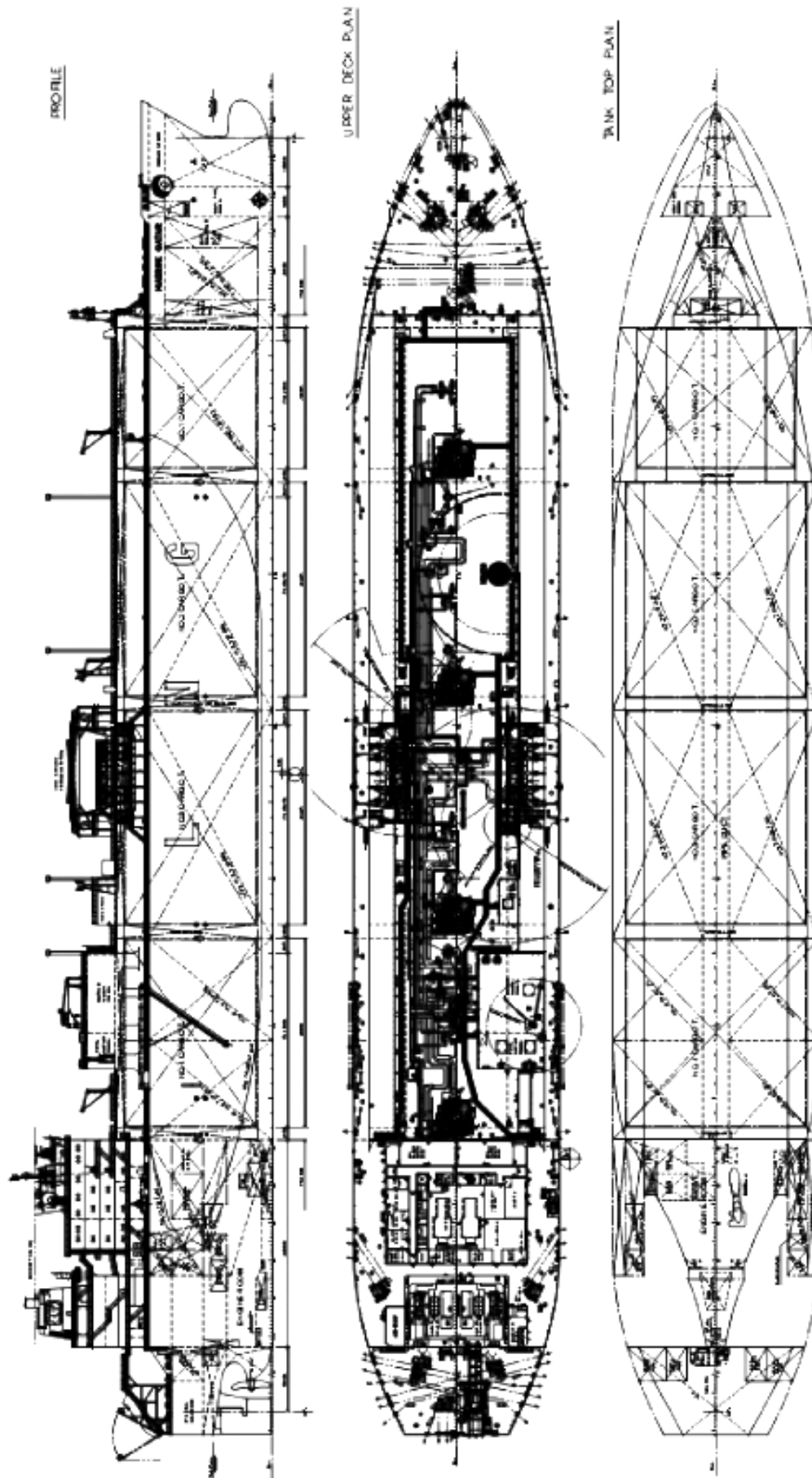
Despite the fact that it does hold contracts for both low-speed diesel and diesel-electric-powered LNG tankers, Samsung has retained the 'traditional' steam turbine propulsion system for *Maersk Qatar*. This makes

use of a Kawasaki UA400, cross-compound, direct-reversible, impulse-type unit developing 29,050kW and driving an FP propeller at 90rev/min for a service speed of 20.6knots. A double-reduction, articulated gearbox is integrated with the main turbine. Two 3450kW steam turbine-driven alternators are installed, and there is also a diesel set with the same output. Steam is produced in two watertube boilers arranged to burn either oil fuel or boil-off gases.

TECHNICAL PARTICULARS

Length, oa approx 283.00m
 Length, bp approx 270.00m
 Breadth, moulded 43.40m
 Depth, moulded 26.00m
 to main (upper) deck 32.80m
 to trunk deck 2.53m
 Width of double skin 3.10m
 Draught 11.40m
 design 12.00m
 summer 12.40m
 scantling 96,508gt
 Gross 102,000tonnes
 Displacement (design) 30,740tonnes
 Lightweight 71,450dwt
 Deadweight 77,450dwt
 design 81,450dwt
 summer 0.745
 Block coefficient (design) 20.60knots
 Speed, service, 85% MCR, design draught 145,600m³
 Cargo capacity 7490m³
 heavy oil 440m³
 diesel oil 57,000m³
 Water ballast 171.7/tonnes/day
 Fuel consumption, main engine American Bureau of Shipping, +A1, E, Liquefied Gas Carrier, Ship Type
 Classification 2G (Membrane Tank, max pressure 25kPaG, min temp -163°C, SG 500kg/m³), SH, SH-DLA, SHCM, SFA (40) +AMS, +ACCU, UWILD, PMS including CMS, NIBS, HM3+R with Descriptive Note: 'Slam Warning, Hull Girder Stress, Full VDM'
 Percentage of high-tensile steel used in construction approx 13%
 Main engine direct reversible steam turbine
 Design UA-400
 Model Kawasaki Heavy Industries
 Manufacturer 1
 Number 29,050kW
 Output 2
 Main boilers

Type Water tube
 Manufacturer Kawasaki Heavy Industries
 Output 2 x 660tonnes/h
 Gearbox Kawasaki Heavy Industries
 Make double-reduction, articulated
 Type 1
 Number 90rev/min
 Output speed Nickel-aluminium-bronze
 Propeller Designer/manufacturer Samsung/Nakashima
 Material 1
 Number Fixed
 Pitch 8600mm
 Diameter 90rev/min
 Speed Steam-turbine driven alternators
 Number 2
 Make/type Mitsubishi/AT42CT-B
 Output/speed 2 x 3450kW/1800rev/min
 Diesel-driven alternator 1
 Number STX-MAN/8L32/40H
 Engine make/type MDO
 Type of fuel 3664kW/720rev/min
 Output/speed Nishishiba
 Alternator type 3450kW/720rev/min
 Output/speed 4 x IMO Type 2 membrane (GTT Mk 3 system)
 Cargo tanks 8
 Number submerged electric
 Cargo pumps Type Ebara
 Make 8 x 1700m³/h
 Capacity Saab Rosemount
 Custody transfer system Kongsberg Maritime
 Integrated automation system 41 plus 6 Suez crew
 Complement Bow thruster
 Make Kawasaki Heavy Industries
 Number 1
 Output 2500kW
 Bridge control system Kawasaki
 Make part of main turbine installation
 Type Fire detection system
 Make Consilium Marine
 Type CS 3000
 Fire extinguishing system High-pressure CO₂
 Engine room Make Unitor
 Radars 2
 Number Kongsberg
 Make DB 1028
 Model Integrated bridge system
 Make Kongsberg
 Model SEAMAP 1021
 Contract date 29 October 2003
 Launch/float-out date 9 July 2005
 Delivery date 15 April 2006





ANEXO 2.

SOLVER

Microsoft Excel 14.0 Informe de límites

Hoja de cálculo: [Costes.xlsx]Costes

Informe creado: 10/02/2016 20:40:28

Objetivo		
Celda	Nombre	Valor
\$N\$13	Coste tot	61.697.958,98

Variable			Inferior	Objetivo	Superior	Objetivo
Celda	Nombre	Valor	Límite	Resultado	Límite	Resultado
\$C\$95	Lpp	277,96	277,96	61697958,98	277,96	61697958,98
\$C\$96	B	45,90	45,90	61697958,98	45,90	61697958,98
\$C\$97	T	11,57	11,57	61697958,98	11,81	61853568,75
\$C\$98	D	26,77	26,77	61697958,98	26,77	61697958,98

Microsoft Excel 14.0 Informe de respuestas

Hoja de cálculo: [Costes.xlsx]Costes

Informe creado: 10/02/2016 20:40:27

Resultado: Solver encontró una solución. Se cumplen todas las restricciones y condiciones óptimas.

Motor de Solver

Opciones de Solver

Celda objetivo (Mín)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
\$N\$13	Coste total	61.702.569,67	61.697.958,98

Celdas de variables

Celda	Nombre	Valor original	Valor final	Entero
\$C\$95:\$C\$98				

Restricciones

Celda	Nombre	Valor de la celda	Fórmula	Estado	Demora
\$G\$113	Buque proyectado Lpp/T	24,03	\$G\$113<=\$G\$114	No vinculante	1,226629872
\$G\$113	Buque proyectado Lpp/T	24,03	\$G\$113>=\$G\$115	No vinculante	0,50
\$J\$113	Buque proyectado Lpp/B	6,056	\$J\$113<=\$J\$114	No vinculante	0,259754224
\$J\$113	Buque proyectado Lpp/B	6,056	\$J\$113>=\$J\$115	Vinculante	0,000
\$K\$113	Buque proyectado B/D	1,715	\$K\$113<=\$K\$114	No vinculante	0,087536464
\$K\$113	Buque proyectado B/D	1,715	\$K\$113>=\$K\$115	No vinculante	0,061
\$L\$113	Buque proyectado Lpp/D	10,385	\$L\$113<=\$L\$114	No vinculante	0,692307692
\$L\$113	Buque proyectado Lpp/D	10,385	\$L\$113>=\$L\$115	Vinculante	0,000
\$M\$113	Buque proyectado T/D	0,432	\$M\$113<=\$M\$114	No vinculante	0,018983304
\$M\$113	Buque proyectado T/D	0,432	\$M\$113>=\$M\$115	Vinculante	0,000
\$N\$113	Buque proyectado Lpp·B·D	341474,000	\$N\$113>=\$N\$118	Vinculante	0,000
\$O\$113	Buque proyectado Volumen/LBD	0,49784171	\$O\$113<=\$O\$114	No vinculante	0,009190794
\$O\$113	Buque proyectado Volumen/LBD	0,49784171	\$O\$113>=\$O\$115	No vinculante	0,02784171

Microsoft Excel 14.0 Informe de confidencialidad**Hoja de cálculo: [Costes.xlsx]Costes****Informe creado: 10/02/2016 20:32:09****Celdas de variables**

Celda	Nombre	Final Valor	Reducido Degradado
\$C\$92:\$C\$95			

Restricciones

Celda	Nombre	Final Valor	Lagrange Multiplicador
\$J\$110	Buque proyectado Lpp/B	6,055913978	0
\$J\$110	Buque proyectado Lpp/B	6,055913978	938727,0439
\$K\$110	Buque proyectado B/D	1,714789117	0
\$K\$110	Buque proyectado B/D	1,714789117	0
\$L\$110	Buque proyectado Lpp/D	10,38461538	0
\$L\$110	Buque proyectado Lpp/D	10,38461538	2447336,32
\$M\$110	Buque proyectado T/D	0,432170543	0
\$M\$110	Buque proyectado T/D	0,432170543	16787361,87
\$O\$110	Buque proyectado Volumen/LBD	0,50703297	-109024222,2
\$O\$110	Buque proyectado Volumen/LBD	0,50703297	0

Microsoft Excel 14.0 Informe de límites

Hoja de cálculo: [Costes.xlsx]Costes

Informe creado: 10/02/2016 20:32:10

Objetivo		
Celda	Nombre	Valor
\$N\$14	Coste tot	60.678.033,44

Variable		
Celda	Nombre	Valor
\$C\$92	Lpp	276,27
\$C\$93	B	45,62
\$C\$94	T	11,50
\$C\$95	D	26,60

Inferior	Objetivo
Límite	Resultado
276,27	60678033,44
45,62	60678033,44
11,50	60678033,44
26,60	60678033,44

Superior	Objetivo
Límite	Resultado
288,12	#####
45,62	60678033,44
12,00	60995302,41
26,60	60678033,44

Microsoft Excel 14.0 Informe de respuestas

Hoja de cálculo: [Costes.xlsx]Costes

Informe creado: 10/02/2016 20:32:09

Resultado: Solver encontró una solución. Se cumplen todas las restricciones y condiciones óptimas.

Motor de Solver

Opciones de Solver

Celda objetivo (Mín)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
\$N\$14	Coste total	72.932.998,41	60.678.033,44

Celdas de variables

Celda	Nombre	Valor original	Valor final	Entero
\$C\$92:\$C\$95				

Restricciones

Celda	Nombre	Valor de la celda	Fórmula	Estado	Demora
\$J\$110	Buque proyectado Lpp/B	6,056	\$J\$110<=\$J\$111	No vinculante	0,259754224
\$J\$110	Buque proyectado Lpp/B	6,056	\$J\$110>=\$J\$112	Vinculante	0,000
\$K\$110	Buque proyectado B/D	1,715	\$K\$110<=\$K\$111	No vinculante	0,087536464
\$K\$110	Buque proyectado B/D	1,715	\$K\$110>=\$K\$112	No vinculante	0,061
\$L\$110	Buque proyectado Lpp/D	10,385	\$L\$110<=\$L\$111	No vinculante	0,692307692
\$L\$110	Buque proyectado Lpp/D	10,385	\$L\$110>=\$L\$112	Vinculante	0,000
\$M\$110	Buque proyectado T/D	0,432	\$M\$110<=\$M\$111	No vinculante	0,018983304
\$M\$110	Buque proyectado T/D	0,432	\$M\$110>=\$M\$112	Vinculante	0,000
\$O\$110	Buque proyectado Volumen/LBD	0,50703297	\$O\$110<=\$O\$111	Vinculante	0
\$O\$110	Buque proyectado Volumen/LBD	0,50703297	\$O\$110>=\$O\$112	No vinculante	0,040178567